

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geologie



Bc. Jana Ulmanová

Podmínky vzniku vybraných hydrotermálních žilných ložisek v centrální části Českého masívu
Conditions of formation of selected hydrothermal vein deposits in central part of the Bohemian
Massif

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. RNDr. Jiří Zachariáš, Ph.D.

Praha, 2018

Prohlášení:

Čestně prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracovala samostatně, že všechny použité zdroje jsou řádně citovány a uvedeny v seznamu literatury a že jsem tuto práci ani její část nepředložila k získání jiného akademického titulu.

V Praze dne: 22.8.2018

Podpis:

Na tomto místě bych chtěla poděkovat svému školiteli doc. RNDr. Jiřímu Zachariášovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost a všechny poskytnuté odborné konzultace a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat také rodině a přátelům, kteří mě při studiu a v průběhu psaní této práce podporovali.

Abstrakt

Tato práce se zabývá studiem fluidních inkluzí ze vzorků křemene z Ratibořských Hor a ze Staré Vožice a v barytu ze Stříbrné Skalice a Černých Voděrad. Vzorky byly podrobeny studiu mikrotermometrie fluidních inkluzí, Ramanovy spektrometrie, UV-fluorescenční spektrometrie a elektronové mikrosondy. Ve vzorku ze Staré Vožice byla v křemenu zachycena nízkosalinní fluida systému $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{N}_2$ za tlaku minimálně 240 MPa a teplot min. 260 °C. Tato mineralizace souvisí pravděpodobně s iniciálními stádii zakládání zlomových struktur blanické brázdy a pravděpodobným zdrojem fluid jsou pozdně-metamorfní roztoky. Ve vzorku křemene s galenitem byla zachycena středněteplotní ($T_h = 110-195$ °C) a nízkosalinní až středněsalinní fluida systému $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$, fluida tvořená ropnými uhlovodíky a pozdní nízkosalinní fluida systému $(\text{H}_2\text{O})-\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{CH}_4$ (s obsahem max. 13 mol. % N_2+CH_4 v nevodné fázi) zachycené za nízkých tlaků (max. 10 MPa) a nižších teplot (105-120 °C). V Ratibořských Horách byla prokázána heterogenně zachycená nízkosalinní až středněsalinní fluida systému $\text{H}_2\text{O}\pm\text{CO}_2\pm\text{N}_2\pm\text{CH}_4-\text{NaCl}\pm\text{KCl}\pm\text{MgCl}_2\pm\text{FeCl}_2$ (s max. 26 mol. % N_2+CH_4) zachycené za tlaků 1-25 MPa a teplot 160-315 °C. Ve vzorku barytu z Černých Voděrad byla prokázána nízkosalinní až vysokosalinní vodná fluida s chloridy Na a Ca \pm K, Fe, Mg. Tato fluida jsou pravděpodobně odvozena ze štítových solanek či permských vysychajících jezer. Ve Stříbrné Skalice byla ve barytu zjištěna nízkosalinní fluida systému $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}\pm\text{KCl}\pm\text{MgCl}_2\pm\text{FeCl}_2$.

Abstract

This thesis deals with fluid inclusion study of quartz samples from Ratibořské Hory and Stará Vožice and baryte samples from Stříbrná Skalice and Černé Voděradý. Samples were studied by methods of microthermometry of fluid inclusions, Raman spectrometry, UV-fluorescence spectrometry and EDX analysis. In quartz sample from Stará Vožice there were detected low-salinity $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{N}_2$ fluids that were trapped at min. 240 MPa and 260 °C. This mineralization is probably connected with initial stages of structural evolution of the Blanice Graben. Late-metamorphic fluids were probable source of these solutions. In sample of quartz containing grains of galena there were trapped mesothermal ($T_h = 110-195$ °C) low- to medium-salinity $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ fluids, hydrocarbon fluids and low-salinity $(\text{H}_2\text{O})-\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{CH}_4$ fluids (containing max. 13 mol. % N_2+CH_4 in carbonic phase) trapped at low pressure (max. 10 MPa) and relatively low temperature (105-120 °C). In Ratibořské Hory there were detected heterogeneously trapped low- to medium-salinity $\text{H}_2\text{O}\pm\text{CO}_2\pm\text{N}_2\pm\text{CH}_4-\text{NaCl}\pm\text{KCl}\pm\text{MgCl}_2\pm\text{FeCl}_2$ (with max. 26 mol. % N_2+CH_4 in carbonic phase) fluids trapped at 1-25 MPa and 160-315 °C. In barite sample from Černé Voděradý were detected low- to high-salinity aqueous fluids with Na and Ca \pm K, Fe, Mg chlorides. These solutions are probably derived from shield brines fluids or Permian playa-like fluids. In barite sample from Stříbrná Skalice there were detected low-salinity $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}\pm\text{KCl}\pm\text{MgCl}_2\pm\text{FeCl}_2$ fluids.

Obsah

1. ÚVOD	1
2. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉ OBLASTI.....	2
2.1 Moldanubická oblast	2
2.2 Blanická brázda.....	4
3. CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH LOKALIT Ag-Pb-Zn±Cu a Au MINERALIZACE V BLANICKÉ BRÁZDĚ.....	6
3.1 Rudní revír Ratibořské Hory-Stará Vožice	6
3.2 Rudní revír Stříbrná Skalice – Střímelice	9
3.3 Rudní revír Rudolfov	11
3.4 Ložisko Hříva.....	13
3.5 Ložisko Roudný	13
4. PŘEHLED DOSAVADNÍCH NÁZORŮ NA PODMÍNKY VZNIKU LOŽISEK V BLANICKÉ BRÁZDĚ A PŘÍLEHLÉM OKOLÍ.....	15
4.1 Ag-Pb-Zn±Cu mineralizace	15
4.2 Au-mineralizace	15
4.3 U-mineralizace	16
5. METODIKA	17
5.1 Petrografie a mikrotermometrie fluidních inkluzí.....	17
5.2 Ramanova spektrometrie.....	18
5.3 UV fluorescence.....	18
5.4 Elektronová mikrosonda	18
6. VÝSLEDKY	19
6.1 Mineralogie a fluidní inkluze	19
6.1.1 Stará Vožice	19
6.1.2 Ratibořské hory	28
6.1.3 Stříbrná Skalice	40
6.1.4 Černé Voděradý	42
6.2 Ramanova spektrometrie.....	44
6.2.1 Stará Vožice	45
6.2.2 Ratibořské Hory	46
6.3 Fluorescenční spektrometrie	47
7. DISKUZE.....	49

7.1. Stav zachování a reekvilibrace fluidních inkluzí	49
7.2 Chemické složení fluid.....	50
7.2.1. Stará Vožice	50
7.2.2 Ratibořské Hory	52
7.2.3 Stříbrná Skalice a Černé Voděradý	55
7.3 P-T podmínky zachycení.....	55
7.3.1 Stará Vožice	55
7.3.2 Ratibořské Hory	57
7.4. Původ fluid.....	58
7.5 Srovnání výsledků s předchozími výzkumy v blanické brázdě a přilehlém okolí	58
8. ZÁVĚR	61
LITERATURA.....	63

1. ÚVOD

Blanická brázda představuje významnou tektonickou strukturu střední části Českého masivu, na kterou jsou vázány četné drobné rudní výskyty a rudní ložiska, která byla historicky významným zdrojem Pb-Zn-Ag±Cu a Au-Ag rud. Hlavní rudní revíry Ag-rud Stará Vožice-Ratibořské Hory a Rudolfovo se těžily už od 13. století a zlatodůl Roudný byl na začátku 20. století největším zlatým dolem v Evropě. Z dob aktivní hornické činnosti se dochovalo mnoho sběratelsky i vědecky zajímavých vzorků, které jsou uloženy v muzejních a vysokoškolských sbírkách (např. Národní muzeum Praha, Přírodovědné muzeum ve Vídni), a které v dnešní době, kdy jsou možnosti odběru vzorků v terénu velmi omezené, představují unikátní výzkumný materiál. Přes značný historický ekonomický význam jsou ale stále zejména zdejší Pb-Zn-Ag±Cu ložiska velmi málo prozkoumaná z pohledu podmínek vzniku a geneze jejich matečných fluid.

Cílem této práce je objasnění podmínek vzniku mineralizace na lokalitách Ratibořské Hory, Stará Vožice, Černé Voděradky a Stříbrná Skalice a původ fluid, které se účastnily procesu jejich vzniku za pomoci především studia fluidních inkluzí a dalších doplňujících metodik. Rešeršní část bude zaměřena na geologickou charakteristiku blanické brázdy, podrobný popis hlavních rudních ložisek v blanické brázdě z hlediska historie těžby a mineralogie a přehled dosavadních výzkumů podmínek vzniku mineralizací v blanické brázdě a přilehlém okolí.

2. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉ OBLASTI

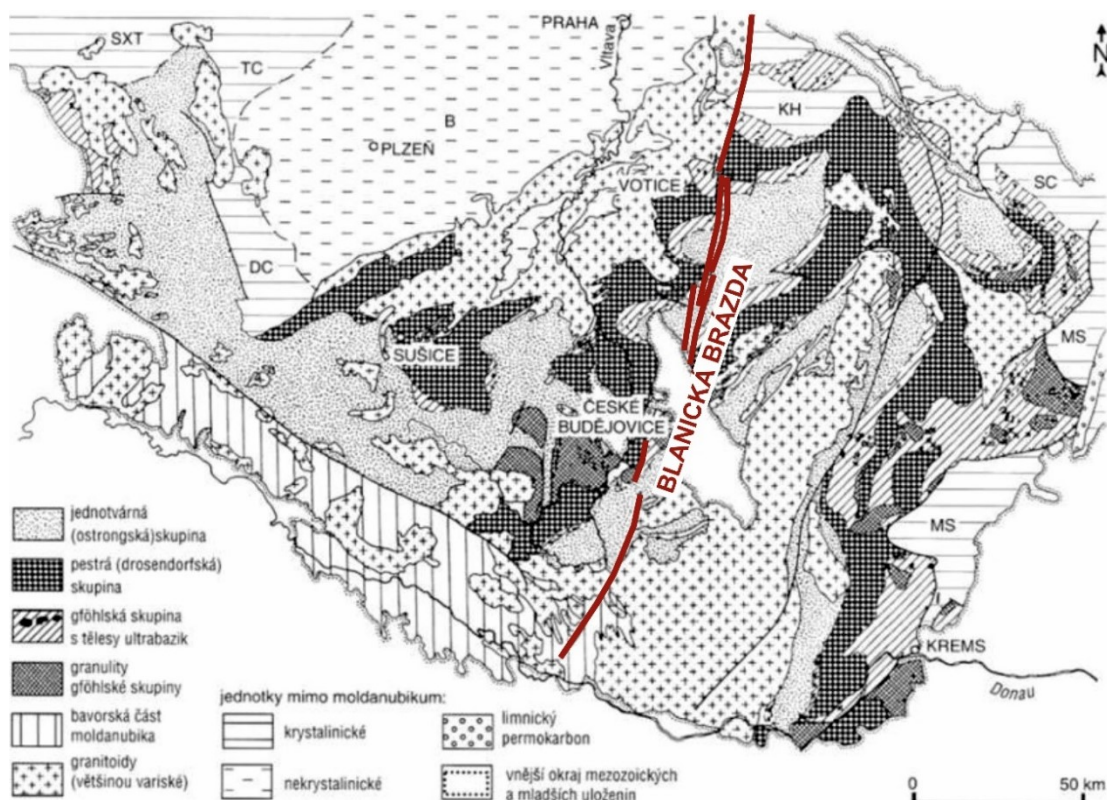
2.1 Moldanubická oblast

Moldanubická oblast (obr. 1) v Českém masívu představuje komplex krystalinických hornin tvořící nejhluběji erodovaný segment variského orogénu. Na severovýchodě sousedí se saxothuringikem, na severu je ohraničena bohemikem, od kterého je oddělena středočeským hlubinným zlomem, a na východě je nasunuta přes moravskoslezskou oblast. Na jihu a jihovýchodě je moldanubická oblast překryta povariskými platformními sedimenty (Fiala 1995). Horniny moldanubické oblasti byly intenzivně metamorfovány v podmínkách vyšší amfibolitové facie až granulitové facie. Při procesech ztlustění kůry se korové horniny v blízkosti suturních zón dostaly do kontaktu s vysokotlakými a vysokoteplotními plášťovými horninami (peridotity), které obsahovaly budiny eklogitů, jež vznikaly tavením plášťových hornin za vysokých tlaků nebo vznikly metamorfózou oceánských bazaltů při subdukci oceánské kůry v oblasti předpokládaných suturních zón na styku se středočeskou a moravsko-slezskou oblastí. Při výstupu k nadloží byly metamorfované horniny moldanubika v rozsáhlých oblastech intenzivně migmatizovány a prostoupeny velkými tělesy variských plutonických hornin. Stáří protolitu metamorfovaných hornin moldanubika se pohybuje v rozmezí od paleoproterozoika po spodní karbon, pro některé typy hornin však spolehlivá radiometrická data dosud chybí (Kachlík 2003). Moldanubikum se člení na 3 tektonicko-stratigrafické jednotky: ostronskou (dříve jednotvárná), drosendorfskou (dříve pestrá) a gföhlskou (Chlupáč et al. 2002).

Ostronskou jednotku (obr. 1) převážně tvoří biotit-cordieritické pararuly a migmatity, méně často dvojslídne pararuly, které vznikly metamorfózou pravděpodobně drobových a břidličných sledů flyšového rázu. Vzácnější vložkové horniny tvoří kvarcity a erlany. Erlany vznikly metamorfózou vápnitých poloh či konkrecí (Kachlík 2003). Horniny této jednotky jsou většinou vysoce metamorfované, přičemž stupeň metamorfózy odpovídá amfibolitové metamorfní facii středních a nízkých tlaků (Chlupáč et al. 2002). Ostronská jednotka je oddělena od drosendorfské jednotky významnou násunovou linií, která je doprovázena drobnými výskyty retrográdně metamorfovaných eklogitů a granulitů (Fiala 1995).

Drosendorfská jednotka (obr. 1) je situovaná v tektonickém nadloží ostronské jednotky. Oproti svému podloží je litologicky pestřejší. Je tvořena pararulami s častými čočkami mramorů, grafitických hornin, kvarcitů, amfibolitů, metadoleritů a metagaber. Stupeň metamorfózy hornin této jednotky je střední až vysoký, přičemž chybí intruze vysokotlaké granulitové facie (Fiala 1995).

Strukturně nejvyšší jednotkou moldanubika je gföhlská jednotka (obr. 1) vyznačující se značnou litologickou heterogenitou (Kachlík 2003). Je tvořena tělesy granátických peridotitů, eklogitů, skarnů, amfibolitů a mramorů, která jsou uložena v různých typech ortorul, migmatitů a granulitů (Franke 2000). Mnohé vysokotlaké litotypy gföhlské jednotky reprezentují vertikální extruze hornin spodní kůry (Franěk et al. 2011).



Obr. 1 Zjednodušená geologická mapa moldanubika s vyznačenou pozicí blanické brázdy podle Chlupáče et al. (2002).

Moldanubická oblast byla proniknuta dvěma variskými plutonickými komplexy, středočeským a moldanubickým. Středočeský pluton intrudoval po středočeském zlomu na hranici středočeské a moldanubické oblasti (Chlupáč, Štorch 1992). Je tvořen šesti a sedmi magmatickými formacemi tvořenými převážně granitoidy typu I a H, vzácněji S. Stáří intruzivních hornin se pohybuje od 351 ± 11 do 343 ± 6 Ma (Pb-Pb datování zirkonu, Holub et al. 1997).

Moldanubický pluton je nejrozsáhlejší plutonický komplex variského stáří v oblasti Českého masivu. Vyvřelé horniny moldanubického plutonu lze rozdělit do tří hlavních skupin. První skupinu tvoří starší synorogenní magmatity spojené s migmatizací okolních hornin. Jedná se hlavně o hrubozrnné porfyrické biotitické granity až granodiority označované jako weinsberský typ (Žák et al. 2011). Stáří těchto granitoidů bylo určeno na 323-331 Ma (Gerdes et al. 2003). Druhou skupinu představují převážně mladší postorogenní granity zastoupené hlavně dvojslídny granity eisgarnského typu (Žák et al. 2011), jejichž stáří bylo určeno na 326-328 Ma (Gerdes et al. 2003). Třetí skupinu tvoří mladší jemnozrnné biotitické granity a granodiority freistadtského a mauthausenského typu o stáří 300-317 Ma (Žák et al. 2011).

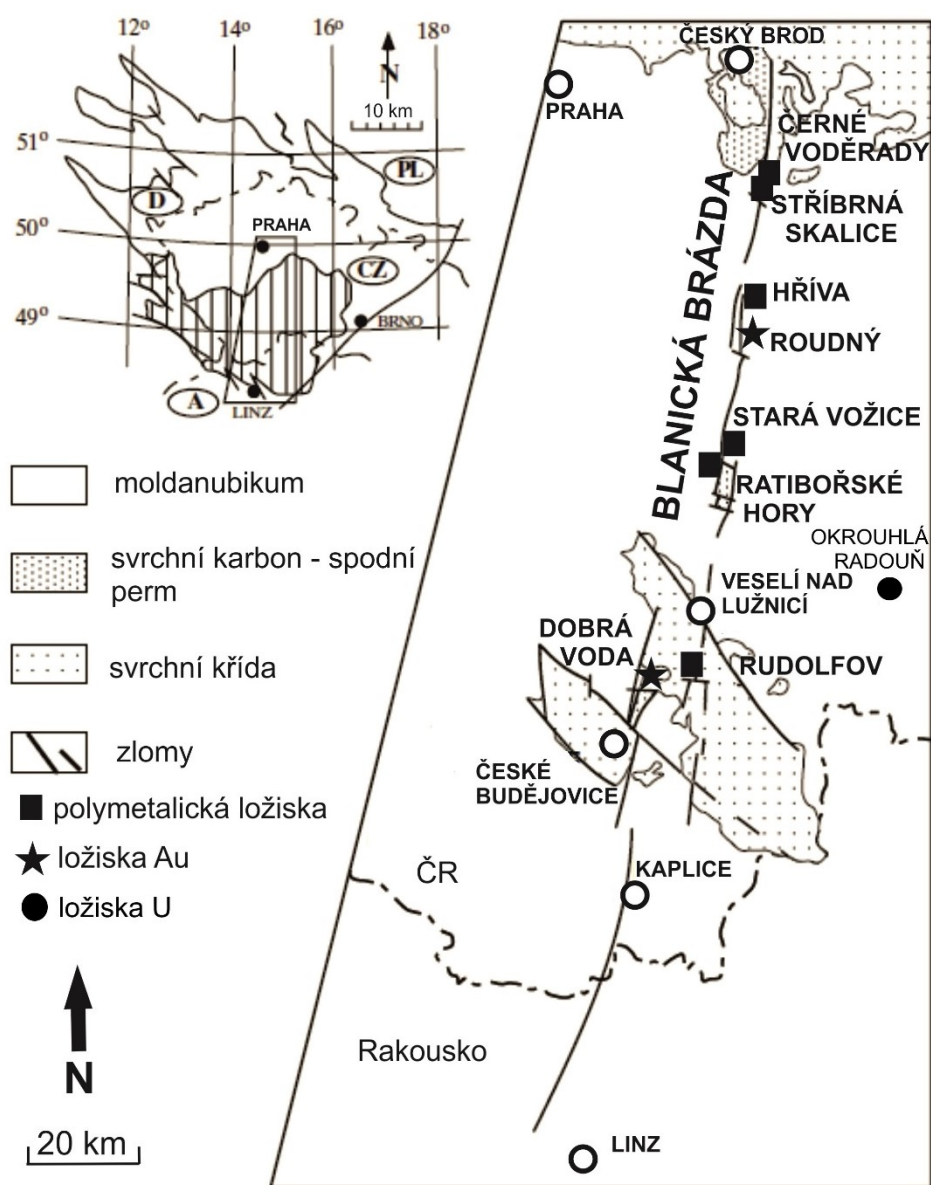
2.2 Blanická brázda

Blanická brázda (obr. 1) je úzká podlouhlá intramontánní deprese ve směru SSV–JJZ. Její východní okraj je omezen příkrými zlomy, její západní hranice je naopak transgresní (Martínek et al. 2001).

Je vyplněna sedimenty nejvyššího karbonu (stephan C) až spodního permu (autun). Jedná se o několik izolovaných výskytnů (denudačních reliktnů) seřazených do pruhu, který probíhá od Českého Brodu po České Budějovice. Na základě geografické pozice lze permokarbonské uloženiny blanické brázdy rozdělit do tří částí. První tvoří nejsevernější a zároveň plošně nejrozsáhlejší výskyty kolem Českého Brodu a Kostelce nad Černými Lesy. Centrální část tvoří výskyty kolem Vlašimi a Tábora. Jižní část je tvořena slabě uhlonosnými výskyty kolem Českých Budějovic (Holub 1972). Sedimenty blanické brázdy dosahují nejvyšší mocnosti kolem 1000 m (Mísař et al. 1983). Permokarbonské sedimenty blanické brázdy jsou tvořeny dle Holuba (1972, 2001) černokosteleckým a českobrodským souvrstvím. Černokostelecké souvrství tvoří bazální výplň blanické brázdy a je reprezentováno peklovskými a lhotickými vrstvami. Peklovské vrstvy jsou tvořeny zejména šedými a červenohnědými pískovci, arkózami, slepenci a brekciemi, vzácněji i prachovci a jílovci. Jejich mocnost se pohybuje od 100 do 175 m. Podle Holuba (2001) náleží ke stephanu C. Lhotické vrstvy (autun) černokosteleckého souvrství jsou tvořeny šedými a červenohnědými pískovci, prachovci a jílovci. Celková mocnost vrstev se pohybuje v rozmezí od 50 do 175 m. Českobrodské souvrství tvoří převážnou část permokarbonských uloženin blanické brázdy a je reprezentováno chýnovskými a bulánskými vrstvami. Chýnovské vrstvy, řazené do spodního autunu, jsou charakteristické červenohnědými pískovci a arkózami a feldspatickými pískovci, prachovci a jílovci. Vzácně se vyskytují vložky vápenců. Celková mocnost vrstev se pohybuje od 300 do 500 m, jedná se tak o nejmocnější vrstevní jednotku v blanické brázdě. Bulánské vrstvy se nacházejí pouze v severní části blanické brázdy, v okolí Českého Brodu. Jsou reprezentovány výhradně brekciemi a slepenci, jejichž klasty jsou často tvořeny horninami kutnohorského krystalinika. Jsou považovány za nejmladší vrstevní jednotku blanické brázdy (Holub 2001). Podle některých názorů představuje permokarbonská výplň blanické brázdy zbytky původně souvislé 12 km široké a 130 km dlouhé pánve. Jižní část blanické brázdy je překryta sedimenty českobudějovické křídové pánve. Další pokračování brázdy k jihu představuje kaplický zlom a ještě dále pak pokračuje jako rodelská zlomová linie v oblasti rakouského moldanubika (Martínek et al. 2001).

Blanická brázda vznikla jako povariské poruchové pásmo v mladším paleozoiku a její tektonická činnost byla později několikrát obnovována. Geochronologické datování tektonické aktivity v české části brázdy bylo provedeno Košlerem et al. (2001), kteří stanovili stáří intruze mikrogranodioritové žíly do pararul moldanubika v blízkosti jednoho ze zlomů ze systému blanické brázdy. Minimální stáří bylo určeno na 270 ± 2 Ma metodou $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ z amfibolu. Vrána et al. (2005) určovali stáří chladnutí amfibolu z žíly kvarcdioritového porfyru z kaplického zlomového pásma. Stáří bylo stanoveno $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ metodou na 303 ± 5 Ma.

Hydrotermální činnost spjatá s tektonickou aktivitou blanické brázdy dala vznik četným rudním ložiskům (obr. 2) a křemenným žilám. Podle Nouzy (1988) se v blanické brázdě nalézá 97 projevů rudní mineralizace různého typu, přičemž 53 z nich je prokazatelně vázáno na její zlomový systém. Dále zde vyčleňuje 3 rudní revíry a 12 samostatných ložisek (obr. 2). Převažujícím typem mineralizace v blanické brázdě je polymetalické Ag-Pb-Zn±Cu zrudnění, jež se vyskytuje v podobě různě velkých ložisek a indicií po celé délce brázdy. Mezi nejvýznamnější zástupce této kategorie patří rudní revír Ratibořské Hory – Stará Vožice, Stříbrná Skalice – Střimelice a rudolfovský rudní revír (obr. 2). Dalším typem zrudnění v blanické brázdě jsou ložiska Au-mineralizace (Roudný, Dobrá Voda) vyznačující se nízkou ryzostí zlata, vysokým podílem As, hojným výskytem sulfidických minerálů a absencí doprovodné Bi, Te, W a Mo mineralizace (Koutek 1964, Nouza 1988). Nejmladším projevem hydrotermálních procesů ložiskového charakteru v blanické brázdě je uranová mineralizace vyskytující se na ložiscích Okrouhlá Radouň (obr. 2) a Heřmaničky (Nouza 1988, Dolníček et al. 2014).



Obr. 2 Geologická skica blanické brázdy (Košler et al. 2001, upraveno).

Polymetalické zrudnění je u všech ložisek vázáno buď na poruchy hlavního směru blanické brázdy (směru SSV–JJZ) nebo na poruchy s nimi zpeřené (směru S–J nebo SSZ–JJV). Nouza (1988) rozděluje polymetalické zrudnění blanické brázdy na 3 typy: kontrastní zrudnění, vtroušené zrudnění a metasomatické zrudnění. Kontrastní zrudnění se vyskytuje ve formě pravých žil s mineralizovanými tahovými puklinami (Ratibořské Hory) nebo ve formě čoček, žil a rudních sloupů vyskytujících se přímo v hlavních dislokacích (Rudolfov). Vtroušené zrudnění se vyskytuje ve výplni hlavních dislokací a nachází se na mnoha lokalitách (např. Ratibořské Hory – Stará Vožice, Rudolfov, Hřiva). Metasomatické zrudnění vzniklo v místech, kde se poruchy hlavního směru křížily s polohami karbonátových hornin (Malovídy) nebo na mocných poruchových pásmech, kam byly tektonicky zavlečeny útržky karbonátových hornin (Rudolfov).

3. CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH LOKALIT Ag-Pb-Zn±Cu a Au MINERALIZACE V BLANICKÉ BRÁZDĚ

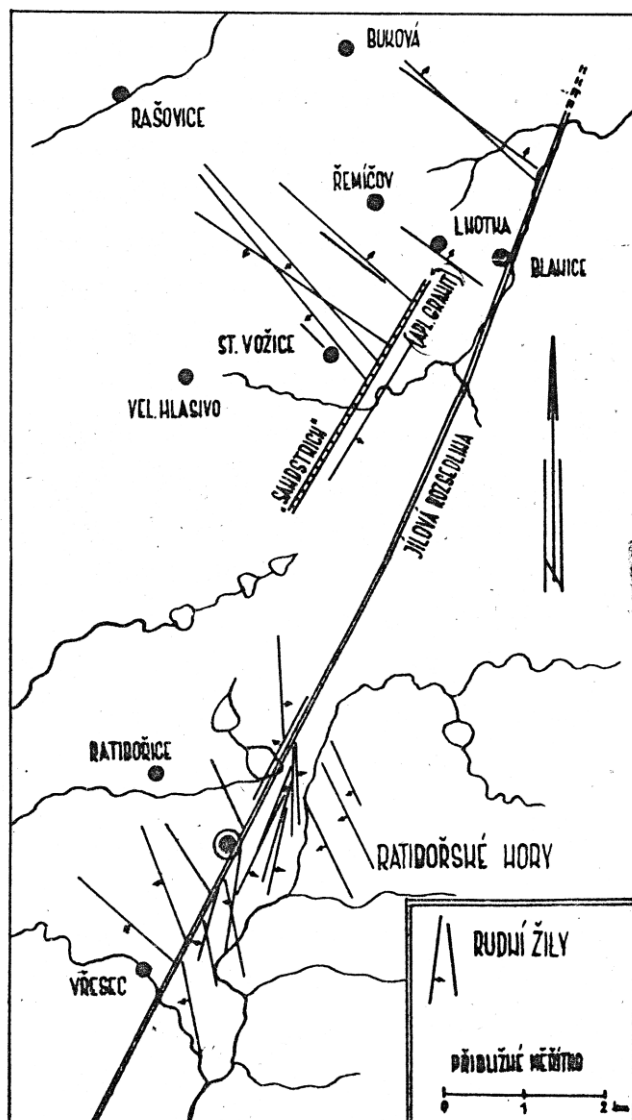
3.1 Rudní revír Ratibořské Hory-Stará Vožice

Starý polymetalický rudní revír Ratibořské Hory-Stará Vožice (obr. 2), jehož celková rozloha je asi 20 km², se nachází severovýchodně od Tábora. Dělí se na dva samostatné dílčí okrsky – okolí Staré Vožice a Ratibořské Hory (obr. 3), které jsou odděleny asi 2 km širokým pásmem bez přítomnosti rudních žil.

Historie dolování sahá pravděpodobně až do 13. či 14. století. První písemná doložená zmínka o dolování se datuje k roku 1526, kdy král Ludvík Jagellonský propůjčil bratrům Měděncům právo dobývat rudní žíly v okolí Ratibořic. Po roce 1550 nastává rozmach těžby díky objevení nových bohatých rudních nálomů. Důlního podnikání se začínají účastnit i Rožmberkové. Nejdůležitějším dolem té doby byl cech Tří králů ležící při severním okraji Nových Ratibořic (pozdějších Ratibořských Hor). Koncem třicetileté války nastal všeobecný úpadek důlního podnikání a v revíru pracovalo celkem 35 havířů. Roku 1652 byly Nové Ratibořice povýšeny na město a přejmenovány na Ratibořské Hory (Velebil 2000). Na přelomu 17. a 18. století se doly dostávají do hlubokého úpadku. Roku 1719 se k revíru dostávají Schwarzenberkové a roku 1724 obnovují těžbu. V 70. letech 18. století dochází k největšímu rozmachu dolování v historii revíru. Počátkem 19. století práce v dolech stagnují. V roce 1927 byly doly po marných pokusech o prodej revíru definitivně opuštěny (Čech et al. 1952). V období od 16. století do poloviny 19. stol. se v ratibořském revíru vytěžilo podle odhadů 100 až 120 tun stříbra (Nouza 1988).

Rudní žíly ratibořského revíru vystupují v rulách při východním okraji moldanubického krystalinika. V okolí Ratibořských Hor lze rozlišit dva typy rul, mezi nimiž prochází tektonická dislokace směru SSV–JJZ, nazývaná jílová rozsediná, která zároveň tvoří osu důlnímu okrsku Ratibořské Hory. Oblast východně od dislokace je tvořena dvojslídnyými pararulami. Západní oblast tvoří biotitické, místy migmatitizované pararuly. Výplň jílové rozsedině tvoří směs kaolinu a křemene, místy obsahuje zrnka pyritu a závalky galenitu. Rudní žíly ve starovožické oblasti vystupují v biotitických částečně migmatitizovaných pararulách. Jílová rozsediná zde

netvoří osu žilné oblasti jako v Ratibořských Horách, ale rudní žíly jsou od ní situovány vesměs na západ (Čech et al. 1952).



Obr. 3 Schématická mapka rudních žil v Ratibořských Horách a ve Staré Vožici podle Koutka (1964).

V Ratibořských Horách bylo popsáno 24 rudních žil, které vystupují po obou stranách jílové rozsedliny. Ta je starší než samotné rudní žíly a byla strukturou, po níž se předpokládá výstup rudních roztoků. Jílovitá výplň dislokace způsobila, že roztoky pronikaly do otevřených puklin v okolí rozsedliny (Čech et al. 1952). V této části revíru převládají u rudních žil dva základní směry. Žíly směru SZ–JV svírající úhel 60° se směrem jílové rozsedliny lze interpretovat jako tahové pukliny, které vznikly během posunu horninových bloků podél jílové rozsedliny, na níž jsou ukončeny. Druhým základním směrem žil je SSV–JJZ, tedy téměř paralelní směr s jílovou rozsedlinou. Jedná se pravděpodobně o mineralizované trhliny, které jsou součástí poruchového pásma (Nouza 1988). Mocnost žil se pohybuje od několika centimetrů do 1 metru, převážně 10–12 cm (Čech et al. 1952). Mezi nejvýznamnější důlní díla v Ratibořských Horách patřily štola sv. Jana a šachta Tří králů. Z rudních žil byly nejdůležitější Dorota, Mikuláš, Matyáš, Vilém, a žíla Všech svatých (Bernard et al. 1986). Ve starovožickém okrsku bylo popsáno 6–7 významnějších rudních žil převážně směru SZ–JV. Žíly dosahují mocností od 2 cm do 1 m,

nejčastěji kolem 10-15 cm, a jsou dlouhé i přes 1 km (Čech et al. 1952). Nejvýznamnějšími žilami v okolí Staré Vožice byly žíly Dobrá naděje a Kateřina (Bernard et al. 1981, 1986).



Obr. 4 Galenit ze Staré Vožice ze sbírek Národního muzea (foto J. Zachariáš).

Hlavními rudními minerály v revíru jsou galenit (obr. 4) a sfalerit. Oba jsou stříbrnosné. Méně hojné jsou Ag-bohatý tetraedrit a stříbrnosný chalkopyrit. Vlastní stříbrné rudy jsou zastoupené pyrrargyritem (obr. 5), stefanitem, argentitem, proustitem a ryzím stříbrem. Z hlušinových minerálů tvoří výplň nejčastěji křemen více generací s drúzovou a brekciovitou strukturou. Méně často jsou zastoupeny karbonáty, hlavně ankerit, kalcit, zřídka siderit, které jsou z primárních minerálů nejmladší (obr. 6). Lokálně je hojný bílý baryt. Ostatní minerály jsou méně běžné až vzácné (Bernard et al. 1986).



Obr. 5 Pyrargyrit z Ratibořic ze sbírek Národního muzea (foto J. Zachariáš).

Minerální asociace	pol					
Mineralizační perioda	KYZOVÁ	SVĚTLÉHO SFALERITU	BARYTOVÁ	SULFIDICKÁ	KARBO-NÁTOVÁ	SUPER-GENNÍ
Nerosty:						
KŘEMEN	●	●		●	●	
ARSENOPYRIT	●					
PYRIT	●			●		
SIDERIT		●				
SFALERIT			●	●		
BARYT			●			
CHALKOPYRIT				●		
GALENIT				●		
Fe-DOLOMIT					●	
KALCIT					●	●
PYRARGYRIT						●

Obr. 6 Minerální sukcese rudních žil ve Staré Vožici (podle Bernarda 1967 in Bernard et al. 1981).

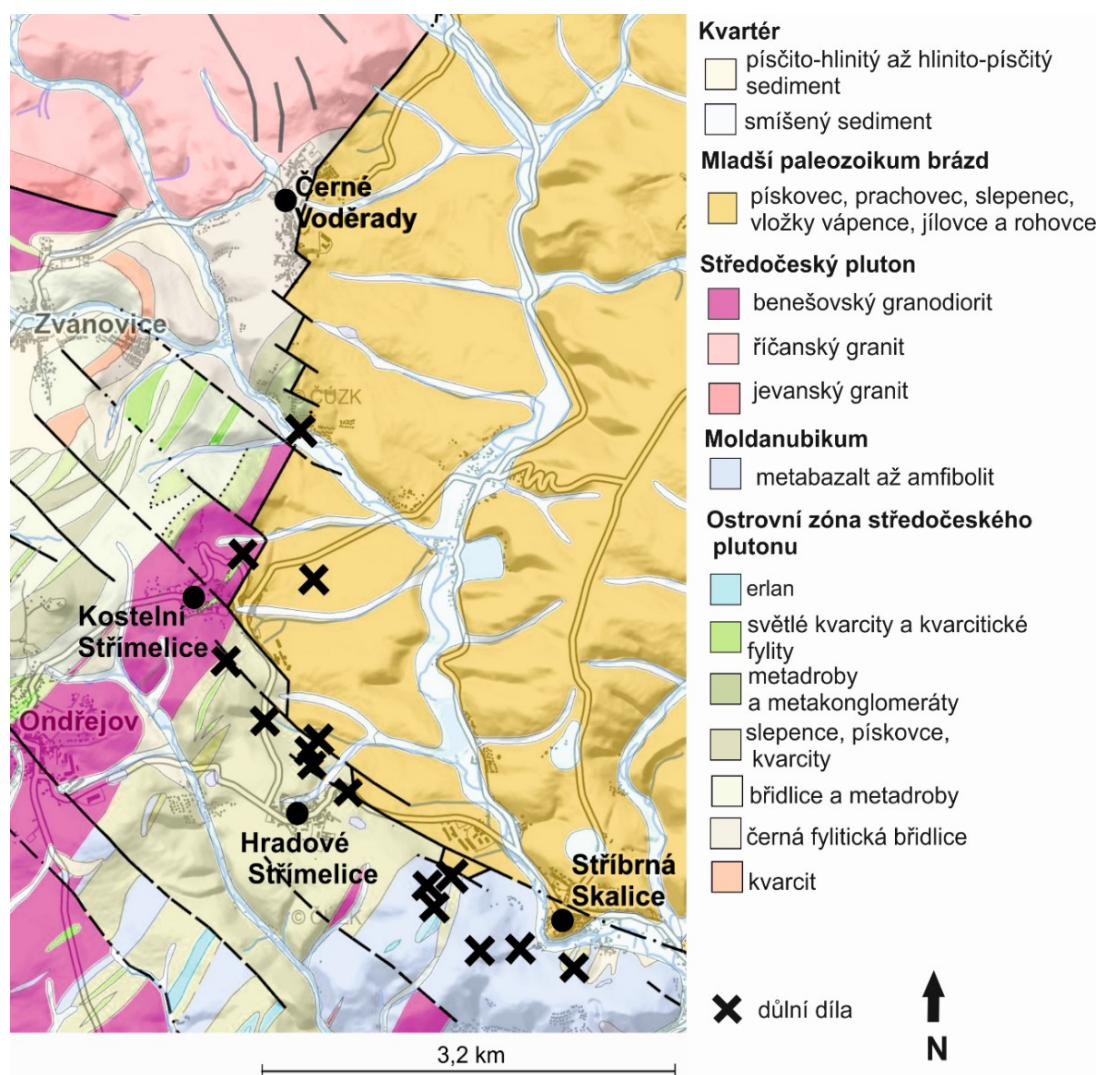
3.2 Rudní revír Stříbrná Skalice – Střímelice

Rudní revír Stříbrná Skalice – Střímelice (obr. 7) se nachází v nejsevernější části blanické brázdy, 15 km severovýchodně od Benešova. Rudní žíly vystupují na území obcí Stříbrná Skalice, Hradové Střímelice, Kostelní Střímelice a Černé Voděrády.

V revíru se těžilo ve 13. století a pak v 16. století. Od té doby byly práce periodicky obnovovány až do 20. století, ale byly spíše pokusného rázu (Koutek 1964).

Rudní revír Stříbrná Skalice – Střímelice má geologicky pestrou stavbu. Na jeho území se nachází horniny choceradského metamorfovaného „ostrova“ a moldanubika, které jsou prostoupeny apofýzami středočeského plutonu. Na severu revíru jsou horniny krystalinika překryty sedimenty českobrodského permokarbonu (Nouza 1988).

Ze Stříbrné Skalice je popsáno asi 15 rudních žil převážně směru SSV–JJZ, méně pak směru SZ–JV, které prorážejí fylity, kvarcity, diority, gabra, gabrodiority a amfibolity (Koutek 1964). Mocnost žil se pohybuje od 1 do 10 cm. Hlavní výplň žil je několikagenerační křemen s barytem, u některých žil s ankeritem a kalcitem.



Obr. 7 Geologická mapa oblasti důlního revíru Stříbrná Skalice – Střímelice In: Geovědní mapy 1:50 000 [online].

Převládajícími rudními minerály žil jsou stříbrnosný galenit a sfalerit, oba ve dvou generacích (obr. 8). Dalšími minerály jsou pyrit, arsenopyrit, chalkopyrit, bornit, tetraedrit a hematit. Směrem k severní části revíru přibývá na žilách chalkopyritu a bornitu. U Černých Voděrads Cu-mineralizace převažuje nad galenitem a sfaleritem a tvoří zde až 3 cm mocné žilky a závalky bornitu (Bernard et al. 1981, 1988). Bornit se v cementační zóně přeměňuje na

chalkozín a ten pak dále v covellin. Konečným produktem jsou pak malachit s azuritem, jež zčásti impregnují přilehlé permokarbonské arkózy. Ruda bývá většinou vtroušená. Jen na místech, kde se mocnost žil zužuje na několik centimetrů, mají žíly masivní strukturu a jsou tvořeny téměř jenom rudními minerály (Koutek 1964).

Mineral.asociace	pol					
Mineral.perioda	KYZOVÁ	SVĚTLÉHO SFALERITU	BARYTOVÁ	SULFIDICKÁ		KARBONÁTOVÁ
N e r o s t y:						
ARSENOPYRIT						
KŘEMEN						
PYRIT						
GALENIT						
SFALERIT						
BARYT						
CHALKOPYRIT						
TETRAEDRIT						
HEMATIT						
ANKERIT						
KALCIT						

Obr. 8 Minerální sukcese rudních žil ve Stříbrné Skalici a Hradových Střímelicích (podle Bernarda 1967 in Bernard et al. 1981).

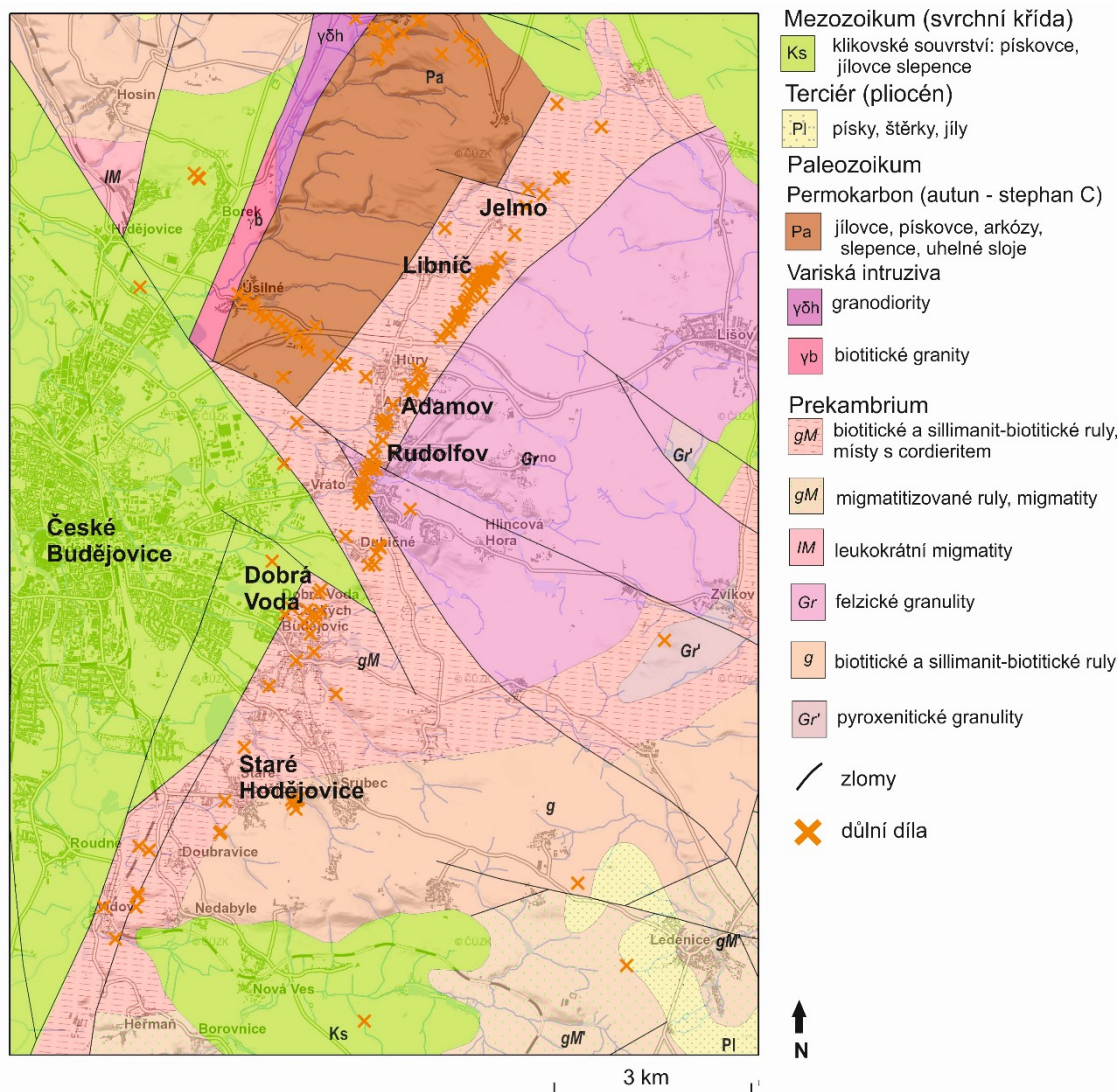
3.3 Rudní revír Rudolfov

Rudolfovský rudní revír (obr. 2, obr. 8) se rozkládá na východě od Českých Budějovic v pruhu dlouhém asi 14 km od Jelma, Libníče k Hůrám, Adamovu, Rudolfovu a Starým Hodějovicím. Těžba Ag-rud zde započala ve 13. století, největšího rozkvětu dosáhla však v 16. a 17. století. Podle odhadů zde bylo v 16. století vytěženo 50 t stříbra (Koutek 1964, Bernard et al. 1986).

Rudní ložiska jsou uložena v krystalinickém prahu mezi jihočeskými křídovými pánvemi (obr. 8). Horniny krystalinického prahu tvoří biotiticko-sillimanitické, cordieritické a hybridní pararuly a granulity s četnými polohami mramorů, amfibolitů, erlanů a migmatitů náležící k ostronské a drosendorfské jednotce (obr. 1) moldanubika (Bernard et al. 1986).

Rudní žíly mají převážně směr blanické brázdy. Zrudnění na žilách se vyskytuje převážně v podobě rudních sloupů, dále se rovněž vyskytuje i metasomatické zrudnění vázané na karbonátové horniny a kontrastní zrudnění ve formě čoček (Nouza 1988). Rudní žíly byly vystaveny porudní tektonice a bývají někdy obtížně identifikovatelné. Často se vyskytují i zrudněná mylonitová pásma. Mocnost žil a mylonitových pásem dosahovala až několika metrů. Hlavní výskyt Ag-rud se soustředil v hloubce kolem 100 m (Koutek 1964, Bernard et al. 1986).

Podle Koutka (1964) mají polymetalické žíly mesotermální charakter. Hlavními rudami jsou galenit (Ag-bohatý), sfalerit, pyrit, chlakopyrit, bornit, místy tetraedrit a covellin. Vzácněji



Obr. 8 Geologická mapa oblasti důlního revíru Rudolfov In: *Geovědní mapy 1:50 000 [online]*.

se vyskytovaly vlastní rudy stříbra (stefanit, polybazit, proustit a pyrargyrit) a ryzí stříbro ve formě drátů a keříčků. Z hlušinových minerálů se vyskytují karbonáty (dolomit, ankerit, kalcit) a křemen.

V nejjižnější části rudolfovského rudního revíru se nachází ložisko Dobrá Voda (obr. 2, obr. 8). Jedná se o ložisko zlata s nízkou ryzostí (elektrum). Ložisko tvoří dva žilné pruhy paralelní se směrem blanické brázdy (Bernard et al. 1981).

Těžilo se zde od 16., nejvíce však v 17. století. Těžba však nedosahovala velkých výtěžností, a proto postupně upadala (Morávek et al. 1992). Těženy zde byly žíly Barbora a Sebastian. Kovnatost těžené rudniny se pohybovala kolem 7 g/t (Nouza 1988).

Podle Koutka (1964) mají žíly vyšší teplotu vzniku než polymetalické žíly ve zbytku rudolfovského rudního revíru a jsou tedy katatermálního charakteru. Zlato je spolu s arzenopyritem a pyritem vtroušeno v křemenné žilovině.

3.4 Ložisko Hříva

Vrch Hříva se nachází 2 km ssz. od obce Louňovice pod Blaníkem. V 60. letech zde byl v rámci geologického mapování blanické brázdy objeven stříbrnosný křemenný žilník. Následně byl proveden geochemický a geofyzikální průzkum, v rámci kterého bylo zhotoveno 5 profilů, 8 šachtic, několik rýh a 6 vrtů (Bernard 1967). Mezi roky 1981-85 zde byly prováděny další podrobné průzkumné práce, přičemž bylo vytvořeno několik nových průzkumných rýh a jádrových vrtů. V rámci ložiskového zhodnocení zde bylo odhadnuto 10-15 milionů tun Ag-Pb-Zn rud (Králík 1997). Ložisko však nebylo dosud těženo.

V okolí ložiska vystupují moldanubické dvojslídne až biotitické pararuly s ojedinělými vložkami amfibolitu a skarnu (Králík 1997). Horniny tvořící hřbet Hřívy byly velmi silně hydrotermálně alterovány s různým stupněm silifikace. Původní horniny tvoří už jen relikt (Hübst et al. 2011).

Samotný křemenný žilník má mocnost 20 až 60 m a délku cca 1300 m se směrem S-J a je vyvinut v nadloží tektonické poruchy přesmykového charakteru (Králík 1997). Křemen se zde vyskytuje ve třech generacích. Křemen první generace se vyskytuje v podobě šedého mikrokrytalického „kruškového“ křemene, který tmelí alterované pararuly. Druhá generace se vyskytuje v podobě žilek bílého křemene o mocnosti do 10 cm. Ke třetí generaci se řadí krystalky křišťálu narostlé v dutinách. Z dalších hlušinových minerálů se zřídka vyskytuje baryt v podobě několika cm mocných žilek a velmi vzácně i kalcit. První a druhá generace křemene je zrudněná. Rudní minerály jsou v křemeni buď jemně vtroušeny, nebo se vyskytují v podobě drobných žilek. Jsou zastoupeny galenitem, pyritem, markazitem, chalkopyritem a Ag-bohatým tetraedritem, druhotně pak vznikl akantit, pyrargyrit, bornit a ryzí Ag (Šrein 1985 in Králík 1997). Na základě strukturní podobnosti a studia fluidních inkluzí předpokládají Králík (1997) a Hübst et al. (2011) souvislost polymetalického zrudnění na Hřívě s pozdními fázemi Au-mineralizace na ložisku Roudný.

3.5 Ložisko Roudný

Ložisko Roudný (obr. 2) se nachází v severní části blanické brázdy asi 10 km jihozápadně od Vlašimi. Jedná se o žilníkové ložisko s nízkou ryzostí zlata (elektrum).

Na tomto ložisku se začalo kutat zlato ve 14. století (možná i dřív), do té doby se pouze rýžovalo v okolí Libouňského potoka a Blanice. Další záznamy jsou z 18. století, kdy těžba nebyla velká. Znovu se začalo těžit až na samém konci 19. století. Na počátku 20. století byla těžba zlata už v plném proudu. Ložisko Roudný bylo tehdy považováno za jeden z nejmodernějších zlatých dolů v Evropě. Mezi lety 1904 až 1930 (v tomto roce byl důl uzavřen) bylo vytěženo 5770 kg zlata. Za celou dobu těžby, včetně středověku, se zde vytěžilo 6770 kg zlata. Obsah zlata v rudnině se průměrně pohyboval okolo 10,5 g/t. Ryzost přítomných zlatinek se pohybovala mezi 658-665 (Morávek et al. 1992).

Ložisko leží v ostrongské jednotce moldanubika, tvořené biotitickými a biotit-sillimanitickými pararulami s vložkami erlanů a krystalických vápenců (Koutek 1964). Zrudněné křemenné struktury vytvářejí žilník, který má tvar nepravidelného trojbokého hranolu omezeného třemi až čtyřmi zlomy. Hlavní strukturou je křemenná žíla V–Z směru s mocností 10-150 cm a s vtroušeným zrudněním, ze které vybíhají další drobné žíly a odžilky. Zlato (elektrum) je spolu se sulfidy vtroušeno v křemeni a zároveň často tvoří příměs ve struktuře sulfidů. Nejběžnějšími přítomnými sulfidickými minerály jsou pyrit a arsenopyrit, vzácněji se vyskytuje markazit a chalkopyrit. Porudní fázi mineralizace představuje dolomit, siderit, fluorit, turmalín a výjimečně i baryt (Koutek 1964, Bernard et al. 1988, Zachariáš et al. 2004, 2009). Tento typ ložiska (stejně jako Dobrá Voda) se na rozdíl od ostatních ložisek Au v Českém masivu vyznačuje nízkou ryzostí zlata, menší pestrostí sulfidů a nepřítomností minerálů Te, W, Bi, Mo.

4. PŘEHLED DOSAVADNÍCH NÁZORŮ NA PODMÍNKY VZNIKU LOŽISEK V BLANICKÉ BRÁZDĚ A PŘÍLEHLÉM OKOLÍ

4.1 Ag-Pb-Zn±Cu mineralizace

Na stříbronosném křemenném žilníku na kopci Hříva (obr. 2) byly studovány fluidní inkluze v křemeni a barytu Hübstem et al. (2011). V rané generaci křemene byla zachycena středněsalinní (6,6-8,9 hm. % NaCl ekv.) vodná fluida s předpokládanými teplotami zachycení od 170 do 200 °C. V pozdní generaci křemene a v barytu se zachytila vodná středněsalinní fluida (7,9-8,4 hm. % NaCl ekv.) za předpokládaných teplot od 160 do 170 °C. Na základě strukturní podobnosti a studia fluidních inkluzí předpokládají Hübst et al. (2011) souvislost polymetalického zrudnění na Hřívě s pozdními fázemi mineralizace na Au ložisku Roudný.

V Ratibořských Horách studovala Islakaeva (2011) fluidní inkluze v křemeni a barytu. Zjištěna byla vodná fluida s NaCl, MgCl₂ a FeCl₂ s variabilní salinitou (1-11 hm. % NaCl ekv.). Teploty homogenizace se u primárních inkluzí pohybovaly mezi 130 a 300 °C, u sekundárních mezi 70 a 130 °C. Zjištěna byla i jedna inkluze typu H₂O-CO₂ o salinitě 3,9 hm. % NaCl ekv., s parciální homogenizací CO₂ fáze 25 °C (na kapalinu) a o celkové homogenizaci 185 °C. Odhadované teploty zachycení fluidních inkluzí jsou podle autorky mezi 230 až 270 °C. Této lokalitě se ve své práci věnovala i Ondřejíčková (2013), která zjistila v křemeni středněsalinní (9-15 hm. % NaCl ekv.) vodné roztoky s teplotami homogenizace mezi 140 a 220 °C v primárních inkluzích. V sekundární fluidních inkluzích zjistila nízkosalinní vodné roztoky (1,5-7,5 hm. % NaCl ekv.) s teplotami homogenizace mezi 210 až 230 °C. Rudnímu revíru Ratibořské Hory – Stará Vožice se rovněž věnoval Stehlík (2011), který zjišťoval izotopové složení karbonátů. Na základě toho rozlišil dvě generace karbonátů. První generace (dolomit, Fe-dolomit, kalcit) dosahovala hodnot $\delta^{13}\text{C}$ od -8 do -10,9 ‰ PDB a $\delta^{18}\text{O}$ od 11,6 do 17,1 ‰ SMOW. Hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ se pro druhou generaci karbonátů (kalcit) pohybovaly od -11 do -14 ‰ PDB a hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ se pohybovala v rozmezí od 20,8 do 23,3 ‰ SMOW. Na základě odhadované hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ fluida 3 ‰ SMOW byly vypočteny teploty vzniku karbonátů. Pro první generaci se pohybují mezi 170 až 250 °C, pro druhou generaci karbonátů se pohybují od 110 do 150 °C.

4.2 Au-mineralizace

Genezi Au-mineralizace na ložisku Roudný (obr. 2) se podrobně zabývali Zachariáš et al. (2009). Na genezi křemenných žil se podílelo minimálně 7 různých typů fluid. Rané fáze mineralizace (předrudní) se účastnily nízkosalinní (0,0-3,9 hm. % NaCl ekv.) a výšeteplotní (330-400 °C) H₂O-CO₂±CH₄-N₂ roztoky, které byly zachycovány nejdříve za tlaku 150-200 MPa (tj. v hloubce 5-8 km) a s nástupem rozsáhlé křehké tektoniky se zachycovaly za tlaku pod 100 MPa (v hydrostatickém režimu fluid) a účastnily se i raných fází hlavní rudní mineralizace. Hlavní a pozdější rudní fáze se z velké části účastnily středněsalinní (3,7-6,2 hm. % NaCl ekv.) a výšeteplotní (Th = 270-330 °C) vodné roztoky. V této fázi byla také sekundárně zachycena vodná fluida, u kterých s poklesem teploty homogenizace (150-300 °C) klesá i jejich salinita (0-5,4 hm. % NaCl ekv.). Zachariáš et al. (2009) tento trend vysvětlují mícháním metamorfních roztoků

s meteorickou vodou. Tento názor podporují i výsledky analýz stabilních izotopů - vypočítané hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ se u těchto fluid pohybují od 1,5 do 3,7 ‰ SMOW. Pozdní (porudní) fáze mineralizace je spojena hlavně s vodnými nízkoteplotními ($T_h = 100\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$) a středněsalinními (5,7-9,3 hm. % NaCl ekv.) roztoky. Rovněž se v pozdních fázích mineralizace vyskytují N_2 -bohatá ($\text{N}_2 \gg \text{CO}_2 \pm \text{H}_2\text{O}$) fluida.

4.3 U-mineralizace

Uranové ložisko Okrouhlá Radouň (obr. 2), vyvinuté na pomezí variských granitoidů a metasedimentárních hornin moldanubika, není vázáno přímo na poruchovou strukturu blanické brázdy, avšak původ mineralizace je dáván do souvislosti s roztoky cirkulujícími na zlomech blanické brázdy (Nouza 1988, Dolníček et al. 2014). Dolníček et al. (2014) se na tomto ložisku věnovali studiu fluidních inkluzí a stabilních izotopů. Z mikrotermometrie fluidních inkluzí byly zjištěny relativně nízké teploty ($50\text{--}140\text{ }^\circ\text{C}$) zachycení hydrotermálních roztoků v karbonátech, albitu a křemeni z předrudní a porudní fáze mineralizace. Salinita těchto fluid byla velmi variabilní (0-25 hm. % NaCl ekv.). Pro fluida byly vypočítány nízké hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ (-10 až $+2$ ‰ SMOW) i $\delta^{13}\text{C}$ (-9 až -15 ‰ PDB). Analýzy výluhů fluidních inkluzí poukázaly na silně variabilní složení solí rozpuštěných ve vodných fluidech. Na základě všech těchto výsledků předpokládají autoři spoluúčast 3 koncových členů hydrotermálních roztoků: meteorické vody, Na-Ca-Cl pánevních a/nebo štítových solanek a roztoků pocházejících patrně z vysychajících permských jezer s vysokým obsahem $\text{SO}_4\text{--NO}_3\text{--Cl--(H)CO}_3$ aniontů.

5. METODIKA

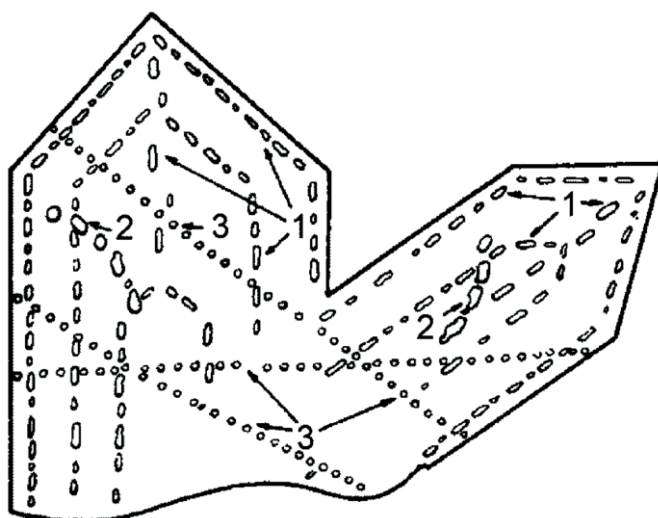
5.1 Petrografie a mikrotermometrie fluidních inkluzí

Oboustranně leštěné destičky ke studiu fluidních inkluzí mi byly poskytnuty vedoucím této práce doc. Zachariášem.

Preparáty byly nejdříve podrobeny petrografickému studiu inkluzí v procházejícím světle na optickém mikroskopu Leica DMPL vybaveném digitální kamerou Jenoptik, kterou byla zhotovena veškerá mikrofotodokumentace. V rámci petrografie fluidních inkluzí byla pozorována jejich velikost, tvar, morfologie, fázové složení, stupeň zaplnění, distribuce ve vzorku a chronologie zachycení. Dle popisné klasifikace (Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000) byly inkluze rozlišeny na: jednofázové (kapalné, plynné), dvoufázové (kapalinou bohaté, plynem bohaté). Dále byly inkluze rozděleny dle genetické klasifikace (Roedder 1984 in Zachariáš 2000) na: primární, pseudosekundární a sekundární inkluze. Primární inkluze vznikly současně s hostitelským minerálem a byly zachyceny v jeho krystalizačním centru nebo na růstových zónách (obr. 9). Pseudosekundární inkluze tvoří krátké planární útvary (obr. 9). Byly zachycené na trhlině, ale krystal poté dále rostl, tedy vůči vnitřním zónám krystalu jsou mladší, ale vůči jeho vnějším zónám jsou současné nebo starší. Sekundární inkluze vznikly po dokončení růstu hostitelského minerálu jako druhotně vyhojené mikrotrhlíny v minerálu. Reprezentují mladší hydrotermální proces a mají často planární uspořádání.

Následně po petrografickém pozorování fluidních inkluzí byly destičky odlepeny v acetonové lázni od podložních skel a rozbíjeny na velikost vhodnou pro mikrotermometrická měření. Fluidní inkluze byly zkoumány na mikroskopu BX-51 s nainstalovanou mikrotermometrickou komorou LINKAM THMSG 600. Mikrometrická komora umožňuje pozorování v rozsahu teplot od -196 do 600 °C. Odchyly přístroje při měření jsou ± 3 °C v oblasti teplot nad 300 °C a $\pm 0,1$ °C v teplotním intervalu od 0 °C do -56 °C.

Měření byly následující mikrotermometrické parametry: teplota celkové homogenizace (Th-tot), teplota parciální homogenizace nevodné fáze (Th-CO₂), teplota vymrznutí vodné fáze (Tf), teplota vymrznutí CO₂ (Tf-CO₂), teplota tání CO₂ (Tm-CO₂), teplota iniciálního tání (Ti) a teplota tání posledního krystalu ledu (Tm-ICE), teplota tání klatrátu (Tm-CLA). Na základě teploty iniciálního tání byl určen systém vodných fluid. Z teploty tání posledního krystalu ledu byla vypočtena salinita podle Bodnara (1993) v případě systému H₂O-soli, v případě systému H₂O-CO₂-N₂±CH₄ byla vypočtena salinita z hodnoty teploty tání klatrátu podle Diamonda (1992). Teplota tání CO₂ a teplota parciální homogenizace CO₂ fáze byly využity k zjištění obsahu dalších přítomných plynů. Izochory pro fluida systému H₂O-soli byly zhotoveny v programu FLINCOR (Brown 1989) dle stavové rovnice podle Zhanga a Frantze (1987). Izochory pro fluida systému H₂O-CO₂-N₂±CH₄ byly sestaveny pomocí programového balíku FLUIDS 1 (BULK, ISOC) (Bakker 2003) založené na stavové rovnici podle Duana et al. (1996) a iontovém interakčním modelu podle Bakker (1999).



Obr. 9 Znáznornění různých genetických typů fluidních inkluzí uvnitř hostitelského krystalu: 1-primární typy, 2-pseudosekundární typy, 3-sekundární typy (podle Benešové a Ďurišové 1980 in Zachariáš 2000).

5.2 Ramanova spektrometrie

Chemické složení nevodné fáze fluidních inkluzí bylo ověřeno pomocí Ramanova disperzního spektrometru DRX (Thermo Scientific) s konfokálním mikroskopem Olympus na Mineralogicko-petrologickém oddělení Národního muzea v Praze. Ramanovská spektra byla získána za použití zeleného laseru (523 nm) o výkonu 10 mW ve spektrálním rozsahu 35-3500 cm^{-1} . Vzorky byly měřeny za použití objektivu 50x a apertury 50x. Průměr paprsku dopadajícího na vzorek byl 0,7 μm . Jedno spektrum se načítalo 7,5 minuty (expoziční čas 3 s, 150 skenů). Spektra byla následně upravena a vyhodnocena za použití programu Omnic 9. Výpočet kvantitativního zastoupení jednotlivých plynů byl proveden na základě ploch píků podle Burkeho (2001). Měření bylo kalibrováno pomocí inkluzí se známým složením.

5.3 UV fluorescence

Za účelem zjištění přítomnosti ropných uhlovodíků ve fluidních inkluzích byly vzorky studovány pod UV-zářením na mikroskopu Leica DPML. Fluorescence uhlovodíků byla vyvolána excitací vzorku Hg-lampou s emisí v oblasti kolem 340-360 nm. K získání spekter byl použit objektiv 50x. K mikroskopu byl připojen multikanálový spektrometr Avantes SensLine AvaSpec-ULS2048L-TEC-USB2 (2048 pixel CCD detektor, rozlišení 0,27 nm/pixel, apertura 100 nm slit, difrakční mřížka 600 vrypů/mm). Získaná spektra byla vyhlazena pomocí Hanningova okénka (filtru) s počtem kroků 61.

5.4 Elektronová mikrosonda

Kvalitativní složení některých pevných fází bylo určeno na elektronové mikrosondě Cameca SX-100 v EDX modu (Mineralogicko-petrologické oddělení Národního muzea, Praha, analytik J. Ulmanová). K analýzám bylo použito urychlovací napětí 15 kV a proud 10 nA.

6. VÝSLEDKY

6.1 Mineralogie a fluidní inkluze

6.1.1 Stará Vožice

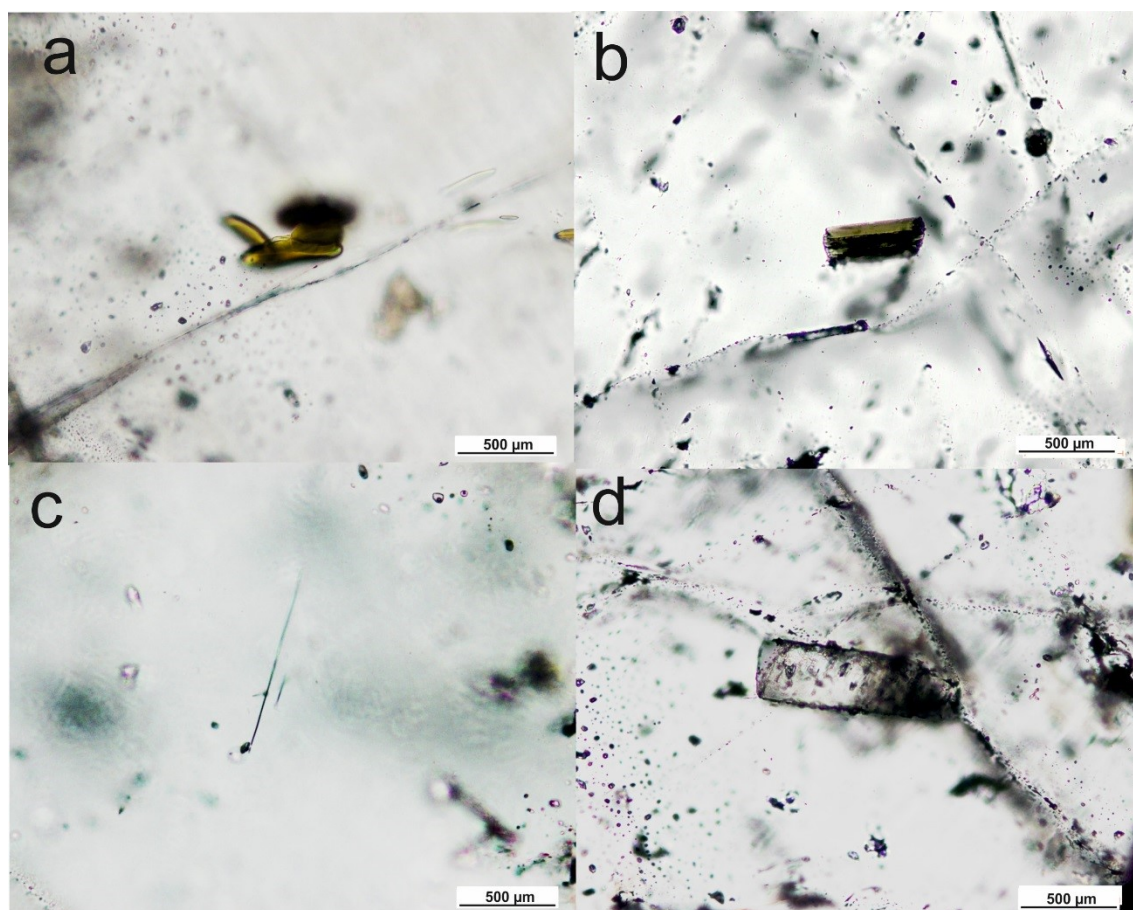
Vzorek SV-35

Makropopis:

Jedná se o převážně křemennou žilovinu s masivní texturou. Křemen narůstá na růžový živec.

Mikropopis:

Křemen je ve vzorku hypautomorfně až xenomorfně omezen. Je tvořen několika většími izometrickými zrny. Křemen zhaší jednotně. V křemeni je uzavřeno hojné množství minerálních inkluzí (obr. 10), jejichž identifikace byla ověřena na elektronové mikrosondě.



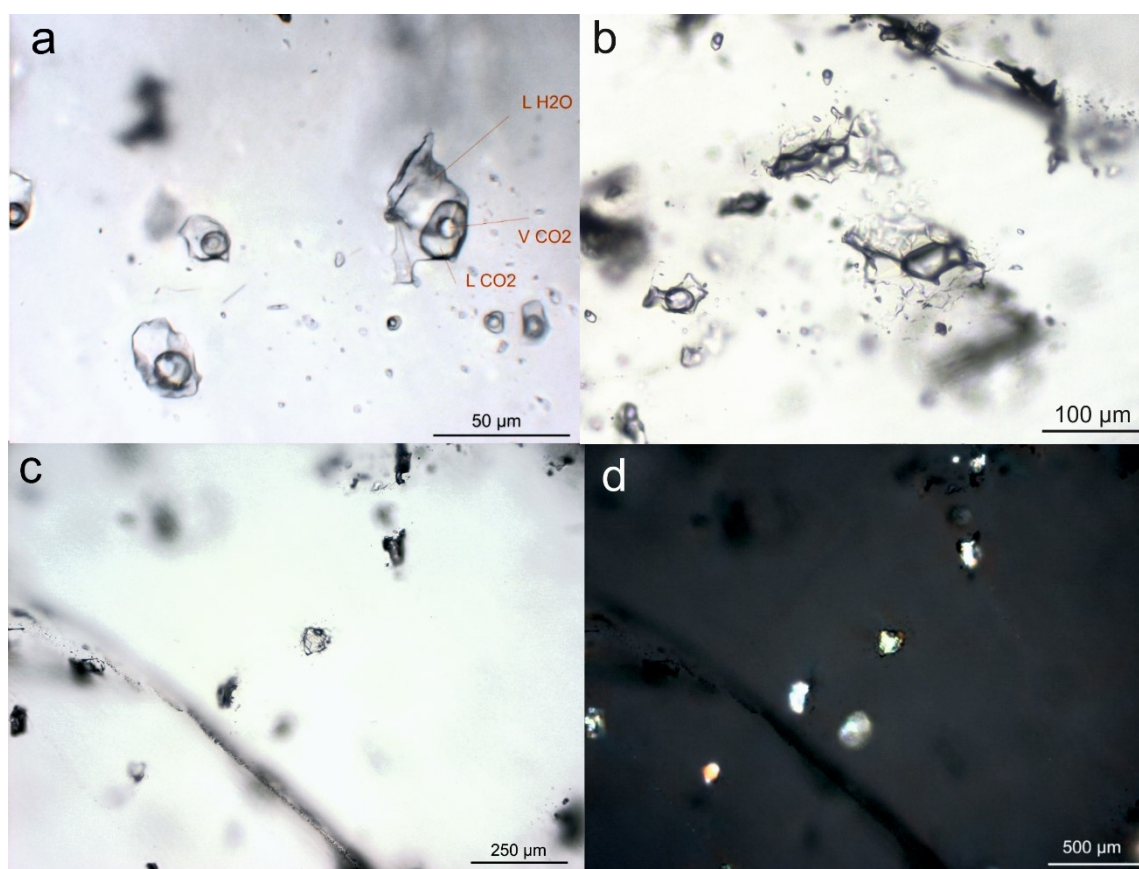
Obr. 10 Příklady pevných inkluzí ze vzorku SV-35. Oboustranně leštěná destička, procházející světlo, PPL. Hypautomorfně omezené tabulky Fe-bohatého biotitu uzavřené v křemeni (a, b); jehličky neidentifikovaného minerálu (c); automorfně omezený K-živec (d).

Nejčastěji jsou uzavírány hypautomorfně omezené tabulky biotitu se zaoblenými hranami. Biotit (obr. 10a,b) je v PPL lahově zelený či tmavě hnědý s málo výrazným pleochroismem od světle zelené resp. žlutohnědé až po temně zelenou resp. tmavě hnědou (téměř černou). Na elektronové mikrosondě byl zjištěn vysoký poměr Fe/Mg. Hojně jsou přítomny tenké černé automorfně omezené jehličky minerálu (obr. 10c), který se kvůli drobné velikosti nepodařilo identifikovat ani na elektronové mikrosondě, ani na Ramanově spektrometru. Tento minerál je rovněž heterogenně zachytáván ve fluidních inkluzích v tomto vzorku. Dále jsou v křemeni hojně uzavírány automorfně omezené tabulky draselného živce (obr. 10d), který je v PPL bezbarvý. Méně často je uzavírán muskovit, minerál TiO_2 a ilmenit. Zřídka jsou v křemeni uzavřeny i drobné krystalky sfaleritu. Vzácně jsou přítomna zrna sekundárního minerálu As a Cu, který nebyl z důvodu malé velikosti přesněji identifikován. Křemen narůstá na menší zrna pertitického draselného živce. Tento živec je hypautomorfně až xenomorfně omezen a je značně kaolinizován; pravděpodobně jde o útržek z okolního horninového prostředí.

Fluidní inkluze:

Petrografický popis:

V křemeni značně převažovaly fluidní inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. Tyto inkluze se vyskytují na vzájemně se křížujících trailech různých směrů, méně často ve skupinkách či soliterně. Jejich charakter je primární až pseudosekundární. Lze rozlišit dva typy inkluzí typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$.



Obr. 11 Příklady fluidních inkluzí ze vzorku SV-35. Oboustranně leštěná destička, procházející světlo. Inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ I. v PPL (a); trailly porušených inkluzí (b); řádek multisolid inkluzí v PPL(c), v XPL (d).

Inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ I. (obr. 11a) mají nepravidelný či okrouhlý tvar a vyskytují se nejčastěji na trailech vedoucích převážně v jednom směru. Jejich stupeň zaplnění je značně variabilní. Nevodná fáze zaujímá od 15 do 50 obj. %. Za pokojové teploty (22 °C) byly, až na jednu, třífázové. Jejich velikost se pohybuje od 1 do 50 μm . V některých fluidních inkluzích tohoto typu se vyskytují pevné fáze (jehlicovitý minerál nebo slídy). V případě slíd (obr. 11c, d) zaujímá pevná fáze v některých inkluzích 60 až 80 obj. %.

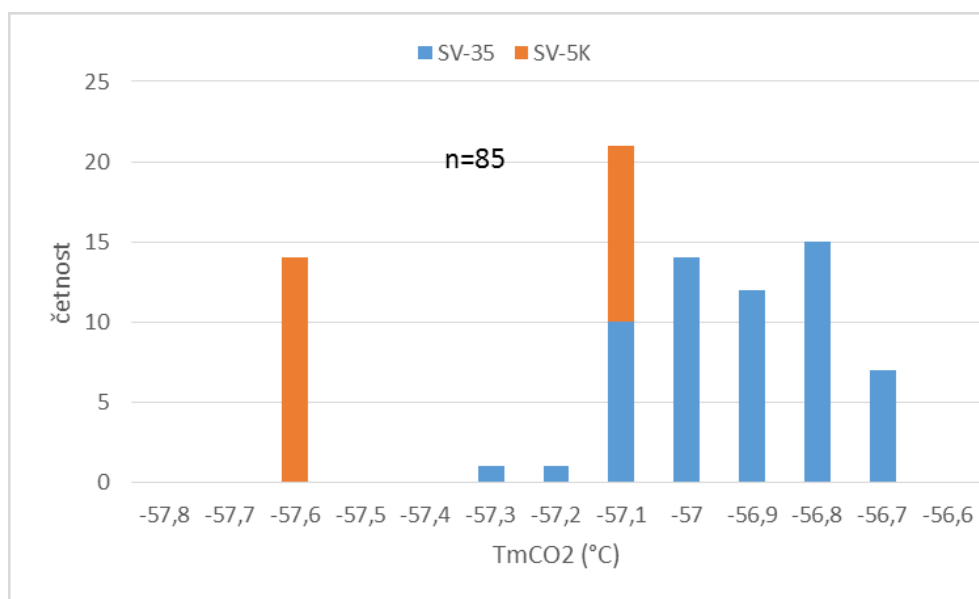
Inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ II. jsou drobné okrouhlé inkluze a vyskytují se na trailech několika směrů, a zároveň se křížují s trailly inkluzí typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ I. Jejich velikost se pohybuje od 1 do 10 μm a nevodná fáze zaujímá 5 až 15 obj. %. Za pokojové teploty jsou převážně třífázové.

Inkluze typu H_2O se v tomto vzorku vyskytují velmi zřídka. Mají okrouhlý či protažený tvar. Plyná fáze zaujímá 10 až 15 obj. %. Jejich velikost se pohybuje od 1 do 20 μm . Většinou byly zachyceny v malých skupinkách.

Dále jsou v křemeni přítomny trailly velmi nepravidelných inkluzí (obr. 11b) o velikosti od 60 do 100 μm . Jejich fázové složení je V nebo L+V, přičemž plynná fáze zaujímá 40 až 70 obj. %. Kolem nich je přítomno mračno (haló) velmi drobných jednofázových a dvoufázových inkluzí ($\leq 5 \mu\text{m}$).

Výsledky mikrotermometrie:

Inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ I. a inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ II. měly obdobné mikrotermometrické parametry. Inkluze vymrzaly při -97 až -92 °C, což se projevilo deformací nevodné fáze. Pevný CO_2 tál při -57,3 až -56,8 °C (obr. 12). Teplota tání klatrátu se pohybovala od 7,8 do 10,1 °C (obr. 13). Parciální homogenizace nevodné fáze (obr. 14) bylo dosaženo v rozmezí 20,9 až 28,6 °C, přičemž šlo o homogenizaci vždy na kapalinu kromě jedné inkluze, která homogenizovala na plyn při 25 °C. Teploty celkové homogenizace se pohybovaly od 258 do 321 °C (obr. 15), přičemž

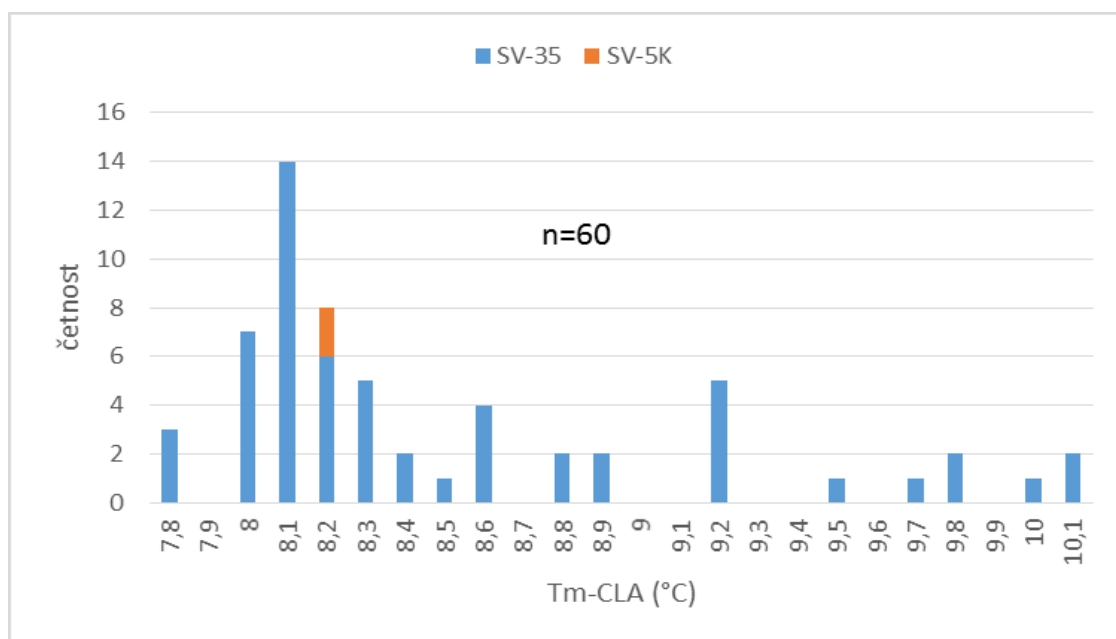


Obr. 12 Histogram teplot tání pevného CO_2 ve vzorcích SV-35 a SV-5K ze Staré Vožice.

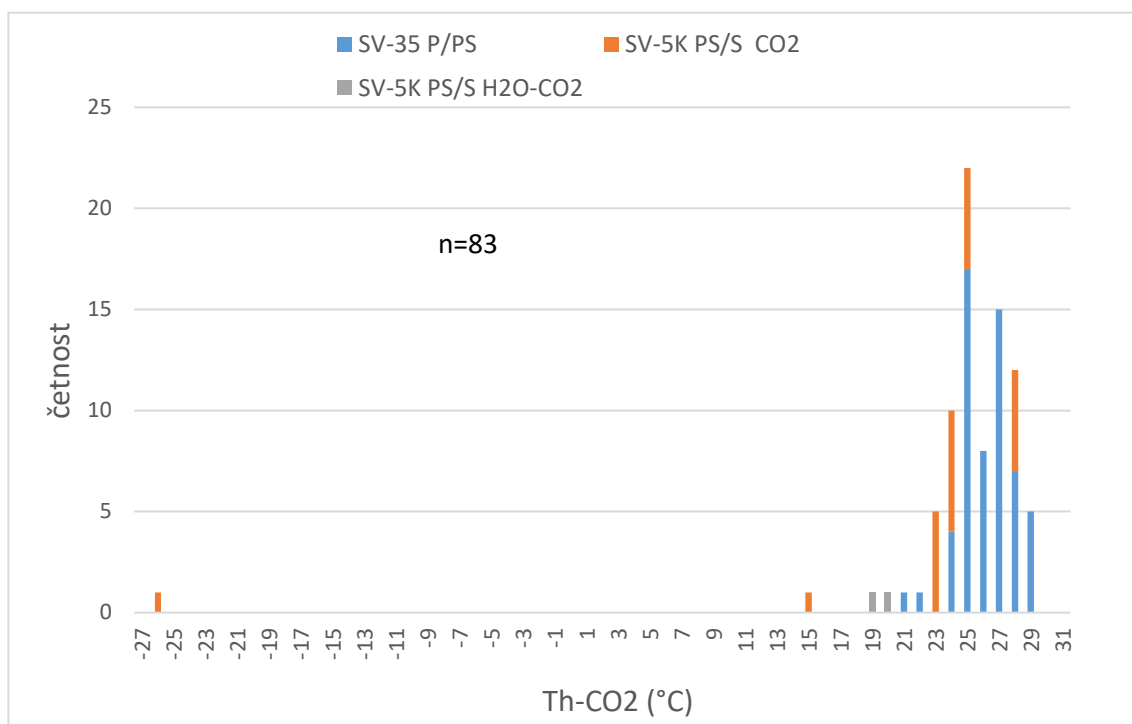
všechny inkluze homogenizovaly na kapalinu (tj. rozpuštění nevodné fáze ve vodném roztoku). Avšak u většiny inkluzí se teplota celkové homogenizace nepodařila změřit, protože inkluze dekriptovaly ještě před jejím dosažením, a to v intervalu od 230 do 300 °C. Inkluze typu H₂O vymrzaly v rozmezí od -42 do -34 °C, což se projevilo kontrakcí nebo vymizením plynové bubliny. Teplota tání ledu se pohybovala od -2,5 do -1,8 °C (obr. 16), čemuž odpovídá salinita 3,1 až 4,2 hm. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Inkluze homogenizovaly vždy na kapalinu při teplotě od 139 do 230 °C (obr. 15). Přehled všech naměřených mikrotermometrických dat z toho vzorku je uveden v tab. 1.

Tab. 1 Výsledky mikrotermometrických měření fluidních inkluzí ve vzorcích ze Staré Vožice (*salinita modelovaná systémem H₂O-CO₂-NaCl podle Diamonda 1992).

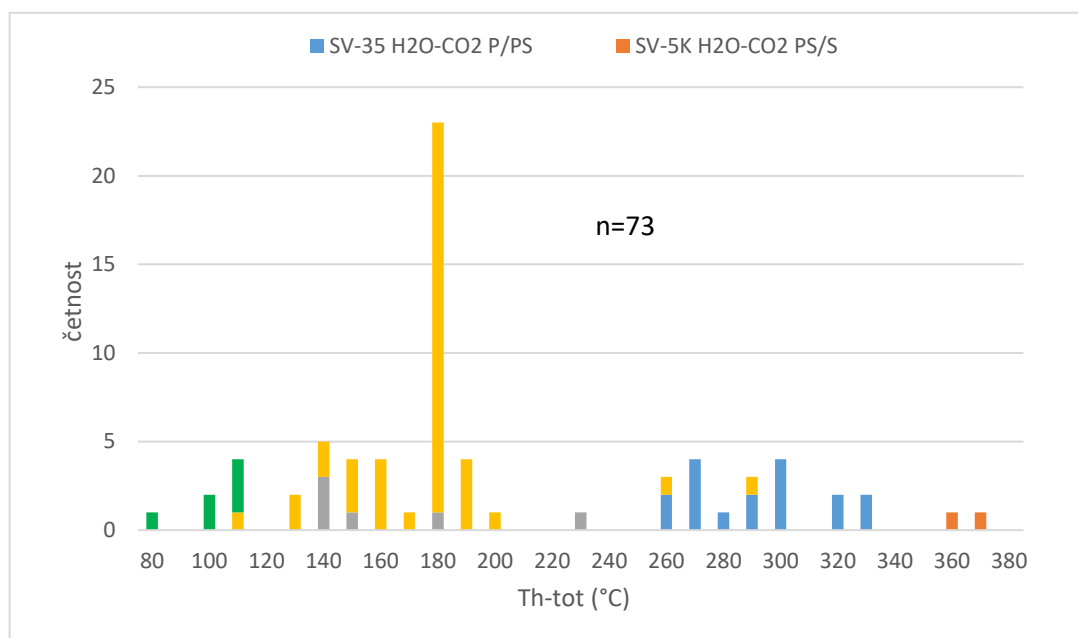
vzorek	SV-35	SV-35	SV-5K	SV-5K	SV-5K	SV-5K
minerál	křemen	křemen	křemen	křemen	křemen	křemen
genetický typ	P	S	P/PS	S	PS/S	PS/S
typ inkluzí	H ₂ O-CO ₂	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	CO ₂	H ₂ O-CO ₂
Th _{tot} (°C)	258-321 (L)	139-230 (L)	110-290 (L)	80-105 (L)	-	358-368 (V)
ThCO ₂ (°C)	20,9-28,6 (L,V)	-	-	-	-26,5/27,8 (V, L, krit.)	18,9-19,4 (L)
TmCO ₂ (°C)	-57,3/-56,8	-	-	-	-57,6/-57,1	-57,6
Ti (°C)	-	-	-21,1	-21,5	-	-
Tm-CLA (°C)	7,8-10,1	-	-	-	-	8,2
Tm-ICE (°C)	-	-2,5/-1,8	-6/-0,1	-7,6/-2	-	-
salinita (hm. % NaCl ekv.)	0,0-4,3*	3,1-4,2	0,2-9,2	3,4-11,2	-	3,5*
stupeň zaplnění	0,5-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9	0,95	-	0,4



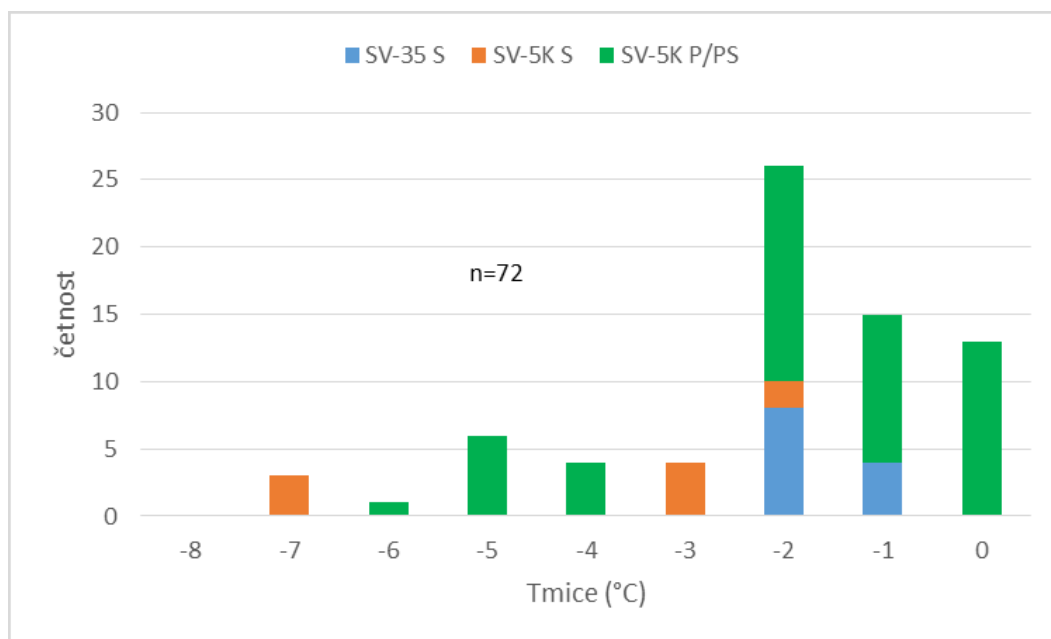
Obr. 13 Histogram teplot tání klatrátu ve vzorcích SV-35 a SV-5K ze Staré Vožice.



Obr. 14 Histogram teplot parciální homogenizace CO₂ ve vzorcích SV-35(homogenizace na kapalinu, kromě jedné na plyn při 25 °C) a SV-5K (typ homogenizace CO₂ na plyn, kromě dvou při 27,8 °C kritickým způsobem a jedné na kapalinu při 27,6 °C) ze Staré Vožice.



Obr. 15 Histogram celkových homogenizačních teplot ve vzorcích SV-35 a SV-5K ze Staré Vožice.



Obr. 16 Histogram teplot tání ledu ve vodných inkluzích ze vzorku SV-35 a SV-5K ze Staré Vožice.

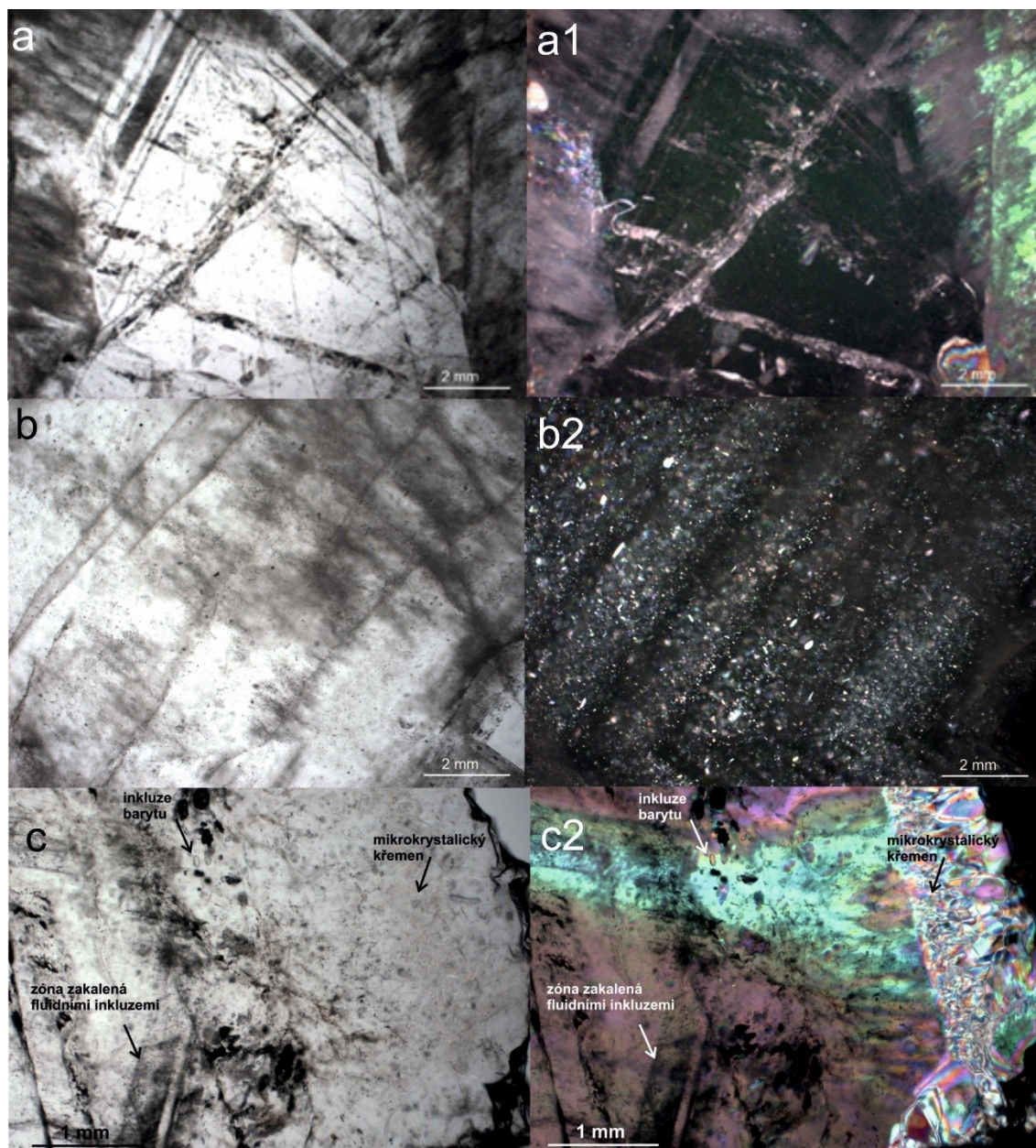
Vzorek SV-5K

Makropopis:

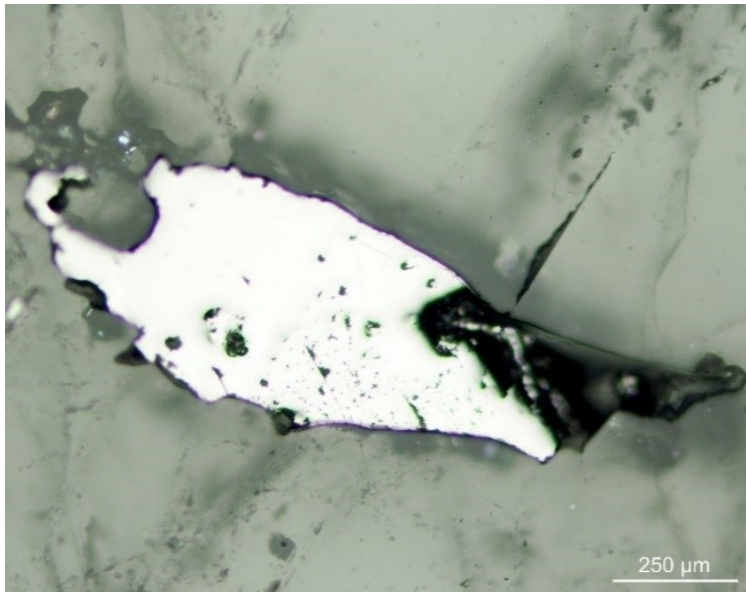
Masivní křemenná žilovina, tvořená několika vzájemně těsně přiléhajícími krystaly křemene.

Mikropopis:

Vzorek je tvořen několika většími automorfně až hypautomorfně omezenými zrny křemene, která jsou zřetelně zonální (obr. 17). Nejstarší zrna jsou tvořena čirým křemenem s relativně menším množstvím převážně pseudosekundárních a sekundárních fluidních inkluzí. Na tato jádra narůstají silně zakalené zóny (obr. 17a) s velkým množstvím fluidních inkluzí, které se střídají se zónami čirého křemene téměř bez fluidních inkluzí. Na ně narůstají užší zóny s velkým množstvím pevných inkluzí automorfně až hypautomorfně omezeného draselného živce (identifikace potvrzena pomocí elektronové mikrosondy), které se střídají se zónami bez pevných inkluzí (obr. 17b). Zóny bez pevných inkluzí jsou různě široké. V těchto zónách byla místy zachycena xenomorfně omezená zrna galenitu (obr. 18). Ve vrcholových částech krystalů se vyskytuje zóna palisádového křemene a na tu narůstá zóna jemnozrnného mikrokrytalického křemene (obr. 17c). V okrajových zónách některých krystalů se vyskytují inkluze automorfně až hypautomorfně omezených tabulek barytu. Vzácně se v křemeni vyskytují i drobné inkluze minerálu TiO_2 . Křemen zhasí jednotně.



Obr. 17 Zonalita individua křemene ve vzorku SV-5K, oboustranně leštěná destička, procházející světlo. Střídání čirých zón se zakalenými zónami v PPL(a), v XPL(a1); zóny s inkluzemi K-živce v PPL (b), v XPL (b2); zóna s inkluzemi barytu a zóna mikrokrytalického křemene v PPL (c); v XPL (c2).



Obr. 18 Xenomorfně omezené zrno galenitu uzavřené v křemeni. Odražené světlo, vzorek SV-5K.

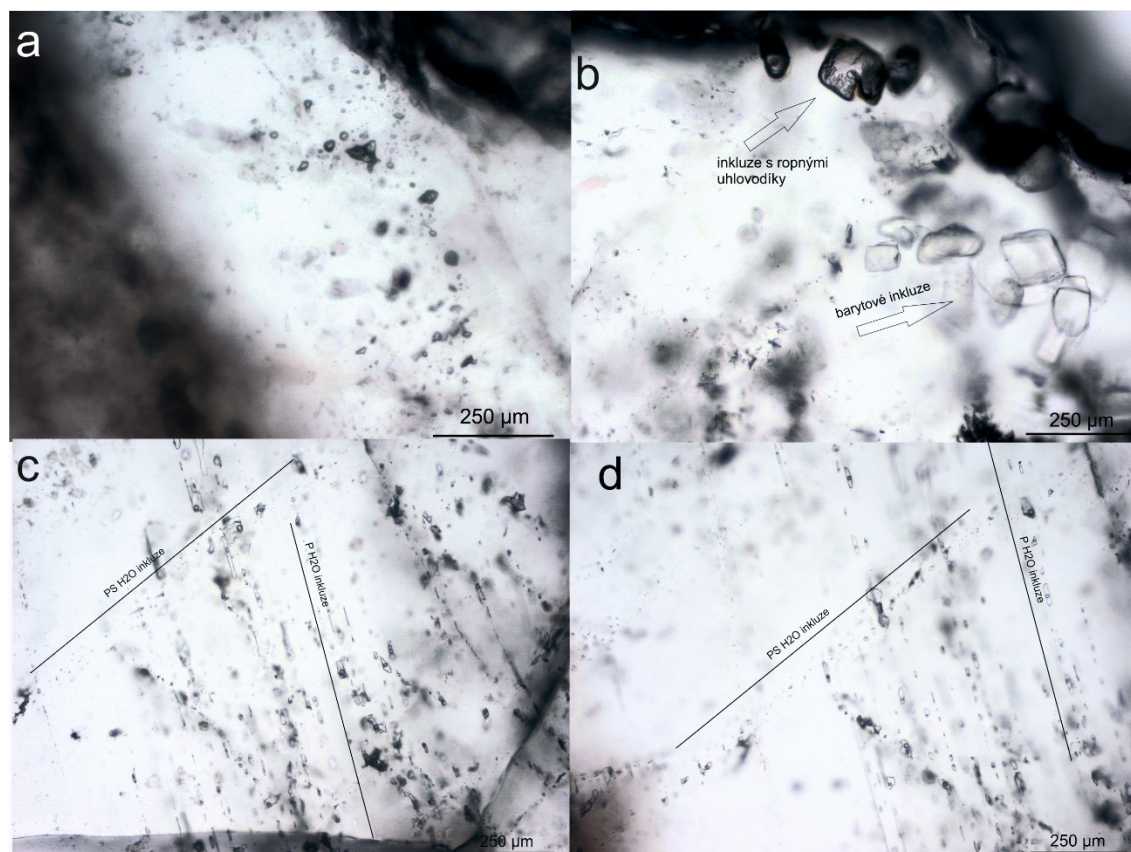
Fluidní inkluze:

Petrografický popis:

Ve vzorku se vyskytují primární inkluze typu H_2O (obr. 19c,d), které jsou za pokojové teploty dvoufázové (plynná fáze zaujímá 10-20 obj. %) nebo jednofázové, přičemž se oba typy vyskytují spolu na řádcích podél růstových zón nebo v trojrozměrných klastrech. Jejich tvar je nepravidelný nebo protažený. Jejich velikost se pohybuje v rozmezí od <1 do $25\ \mu m$. Pseudosekundární inkluze typu H_2O se vyskytují na krátkých trailech různého směru nebo ve skupinkách. Jinak mají obdobné charakteristiky jako primární inkluze. Dále jsou přítomny sekundární inkluze typu H_2O , které se vyskytují na trailech protínajících více růstových zón krystalu. Převažují mezi nimi jednofázové inkluze, zřídka se vyskytují dvoufázové inkluze s konstantním stupněm zaplnění, kdy plynná fáze zaujímá max. 5 obj. %. Mají značně nepravidelný, popř. okrouhlý tvar. Jejich velikost se pohybuje od <1 do $40\ \mu m$. Dále se ve vzorku vyskytují pseudosekundární až sekundární inkluze typu CO_2 , které jsou uspořádány na trailech nebo ve skupinkách (obr. 19a). Jejich tvar je okrouhlý, protažený, vzácněji se vyskytuje i tvar negativního krystalu. Velikost inkluzí je od 5 do $30\ \mu m$. Na trailech se s inkluzemi typu CO_2 vyskytují i inkluze typu H_2O-CO_2 stejných tvarů a velikostí jako inkluze typu CO_2 , přičemž nevodná fáze zaujímá 60 obj. % inkluze. V zónách obsahujících pevné inkluze barytu jsou uzavřeny inkluze s ropnými uhlovodíky (viz UV fluorescence, obr. 19b). Fázové složení inkluzí s uhlovodíky je L+V, L, L+V+S a L_1+L_2+V . Jejich velikost se pohybuje od 30 do $100\ \mu m$ a jejich tvar je nejčastěji okrouhlý či nepravidelný. Jejich stupeň zaplnění je značně variabilní. Plynná fáze zaujímá 0 až 90 obj. %.

Výsledky mikrotermometrie:

Primární a pseudosekundární inkluze typu H_2O měly podobné mikrotermometrické parametry. Oba typy vymrzaly v rozmezí od -43 do -30 °C, což se projevovalo ztmavnutím obsahu inkluze a smrštěním, popř. úplným vymizením plynné bubliny. Teplota iniciálního tání byla změřena na $-21,1$ °C. Poslední krystal ledu tál při teplotě od -6 do $-0,1$ °C (obr. 16), což odpovídá salinitě 0,2 až 9,2 hm. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Tyto inkluze homogenizovaly vždy na kapalinu při 110 až 290 °C (obr. 15).



Obr. 19 Příklady fluidních inkluzí ze vzorku SV-5K. Oboustranně leštěná destička, procházející světlo, PPL. PS/S inkluze typu CO_2 (a); inkluze s ropnými uhlovodíky vázané na zóny s inkluzemi barytu (b); primární vodné inkluze protínané pseudosekundárními vodnými inkluzemi (c, d).

Sekundární inkluze typu H_2O vymrzaly mezi -38 a -30 °C. Teplota iniciálního tání byla stanovena na $-21,5$ °C. Teplota tání posledního krystalu ledu se pohybovala od $-7,6$ do -2 °C (obr. 16), což značí salinitu 3,4 až 11,2 hm. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Inkluze homogenizovaly na kapalinu za teplot od 80 do 105 °C (obr. 15).

Inkluze typu CO_2 a $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ vymrzaly při -98 až -75 °C. Teplota tání CO_2 se pohybovala od $-57,6$ do $-57,1$ °C (obr. 12). Inkluze typu CO_2 homogenizovaly nejčastěji na plyn v širokém rozmezí teplot od $-26,5$ do $27,3$ °C (obr. 14), avšak dvě inkluze homogenizovaly kritickým způsobem při $27,8$ °C. Jedna inkluze homogenizovala na kapalinu při $27,6$ °C. K

parciální homogenizaci nevodné fáze u inkluzí typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ docházelo na kapalinu za teplot od 18,9 do 19,4 °C. Klatrát v těchto inkluzích tál při 8,2 °C. Teploty celkové homogenizace těchto inkluzí se pohybovaly od 358 a 368 °C (obr. 15). Přehled naměřených mikrotermometrických parametrů je uveden v tab. 1.

6.1.2 Ratibořské hory

Vzorek RH-50

Makropopis:

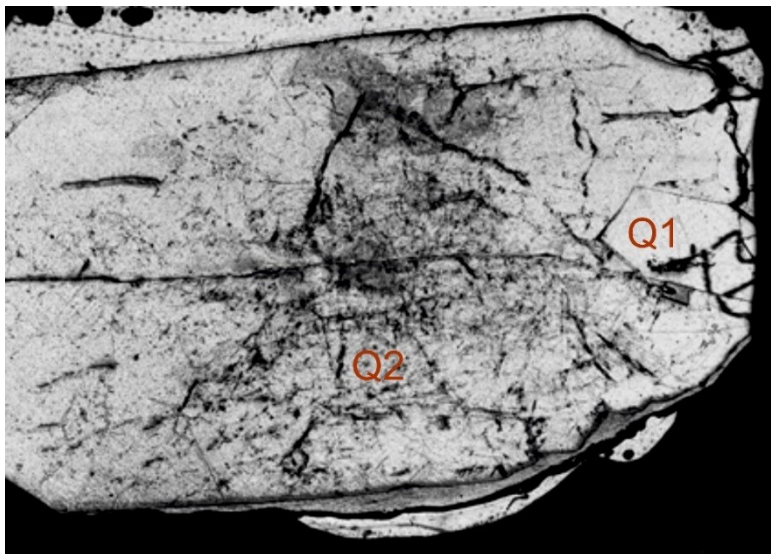
Jedná se o prizmatický monokrystal křemene (obr. 20), který je z jedné strany ukončen klencovými plochami. Křemen je převážně čirý, avšak ve střední části je mléčně zakalen. Plochy prizmatu jsou příčně rýhované. Krystal narůstá na starší generaci drobně krystalického křemene, který je mléčně až žlutavě zbarvený.



Obr. 20 Vzorek RH-50.

Mikropopis:

Na starší generaci křemene Q1, zachycenou v destičce (obr. 21) jako automorfně omezený malý krystalek, narůstá jeden velký automorfně omezený krystal mladšího křemene Q2. Řez destičky je veden rovnoběžně s krystalografickou osou z. Téměř celým středem krystalu probíhá dlouhá trhlina, která je asi do vzdálenosti 50 μm po obou stranách obrostlá mikrokrytalickým křemenem. Křemen Q2 zháší jednotně. V jedné vnější zóně krystalu byly přítomny v řádcích uspořádané uzavřeniny xenomorfně až hypautomorfně omezeného karbonátu (obr. 22a), místy s viditelnou štěpností. Velikost těchto zrn se pohybovala od 20 do 300 μm .

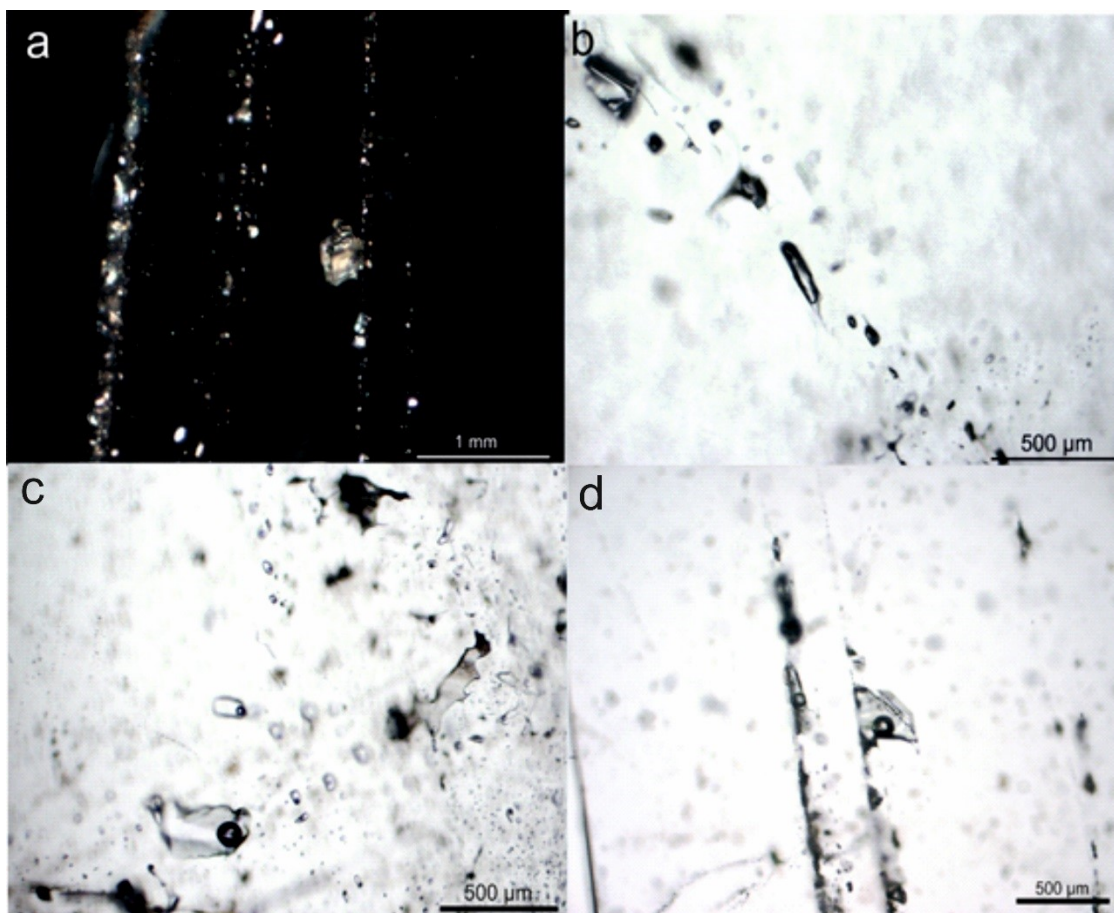


Obr. 21 Naskenovaná oboustranně leštěná destička ze vzorku RH-50.

Fluidní inkluze:

Petrografický popis:

V malém uzavřeném krystalu staršího křemene (Q1) se vyskytuje pouze malé množství vodných dvoufázových pseudosekundárních či sekundárních inkluzí (typ H_2O PS/S), které se nalézají ve vrcholové části krystalu. Mají okrouhlý a nepravidelný tvar. Jejich velikost se pohybuje od 5 do 20 μm . Plynná fáze zaujímala 15 obj. %. V mladším křemenu (Q2) se vyskytují ve zhruba stejném poměru inkluze typu H_2O-CO_2 a vodné inkluze. Inkluze typu H_2O-CO_2 (obr. 22b) jsou primárního až pseudosekundárního charakteru. Vyskytují se na trailech nebo ve shlucích. Jejich tvar je nejčastěji nepravidelný, okrouhlý nebo protáhlý s častými výběžky, vyskytuje se i tvar negativního krystalu. Jejich velikost se pohybuje od 5 do 100 μm . Nevodná fáze zaujímá 60-90 obj. % (nejčastěji kolem 80 obj. %). Vodné inkluze primárního až pseudosekundárního charakteru (typ H_2O P/PS) se vyskytují ve střední části krystalu spolu s inkluzemi typu H_2O-CO_2 . Tvoří trailly nebo shluky (obr. 22c). Mají protáhlý, nepravidelný nebo okrouhlý tvar. Jejich velikost se pohybuje mezi 5 až 50 μm . Plynná fáze zaujímá 5-30 obj. %. Primární vodné inkluze L+V a L+V+S (typ H_2O P) se vyskytují v řádku podél jedné růstové zóny ve vnější části krystalu (obr. 22d). Jejich tvar byl protáhlý, nepravidelný a okrouhlý. Jejich velikost se pohybovala od 10 do 100 μm . Plynná fáze zaujímala 10 až 15 obj. %. V některých inkluzích tohoto typu se vyskytuje i pevná fáze, která zaujímala 10-50 obj. %, pravděpodobně se jednalo o fylosilikát. U inkluzí typu H_2O P/PS a typu H_2O-CO_2 jsem pozorovala často proces zaškrcování fluidních inkluzí, a proto byly k měření vybrány inkluze, které se zdály, že tímto procesem neprošly.



Obr. 22 Příklady inkluzí v křemeni Q2 ze vzorku RH-50. Oboustranně leštěná destička, procházející světlo. Řádky pevných inkluzí zachycených ve vnější zóně krystalu křemene, XPL (a); plynem bohaté inkluze typu H_2O-CO_2 , PPL (b); P/PS inkluze typu H_2O zachycené na krátkém trailu, PPL (c); řádky P inkluzí typu H_2O podél růstové zóny, PPL (d).

Výsledky mikrotermometrie:

Pseudosekundární až sekundární fluidní inkluze v křemeni Q1 vymrzly při teplotě $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Led tál při $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 23), čemuž odpovídá salinita 7,6 hm. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Teplota homogenizace (na kapalinu) těchto inkluzí se pohybovala od 215 do $218\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 24a).

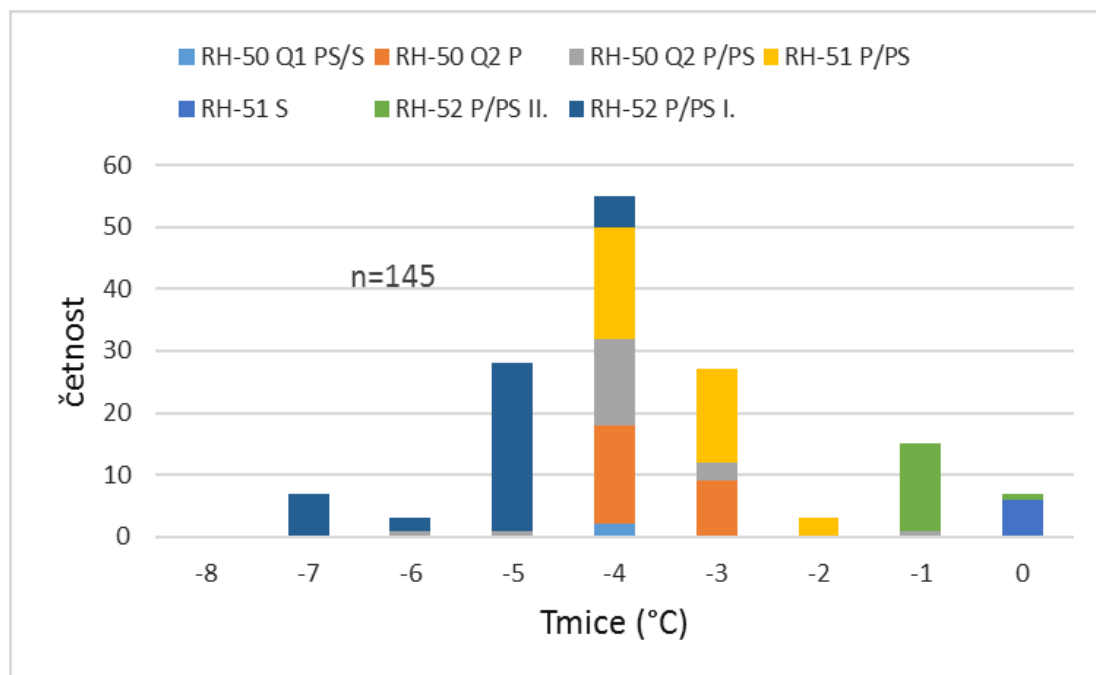
Primární inkluze typu H_2O v křemeni Q2 vymrzaly okolo $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota iniciálního tání se pohybovala v intervalu od -33 do $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 25). Poslední krystal ledu roztál při teplotě od $-4,7$ do $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 23), což indikuje salinitu od 5,3 do 7,5 hm. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Inkluze homogenizovaly vždy na kapalinu za teplot 175-229 $^{\circ}\text{C}$ (obr. 24a).

Primární až pseudosekundární inkluze typu H_2O v křemeni Q2 vymrzaly okolo $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teploty iniciálního tání se pohybovaly v rozmezí hodnot od -28 do $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poslední krystal ledu u těchto inkluzí tál při teplotě $-6,3$ až $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, což značí salinitu 2,2-9,6 hm. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Tyto inkluze homogenizovaly vždy na kapalinu za teplot od 170 do $443\text{ }^{\circ}\text{C}$. Inkluze typu H_2O-CO_2 vymrzaly v intervalu od -98 do $-94\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poslední krystal CO_2 tál od $-58,2$ do $-57,4\text{ }^{\circ}\text{C}$

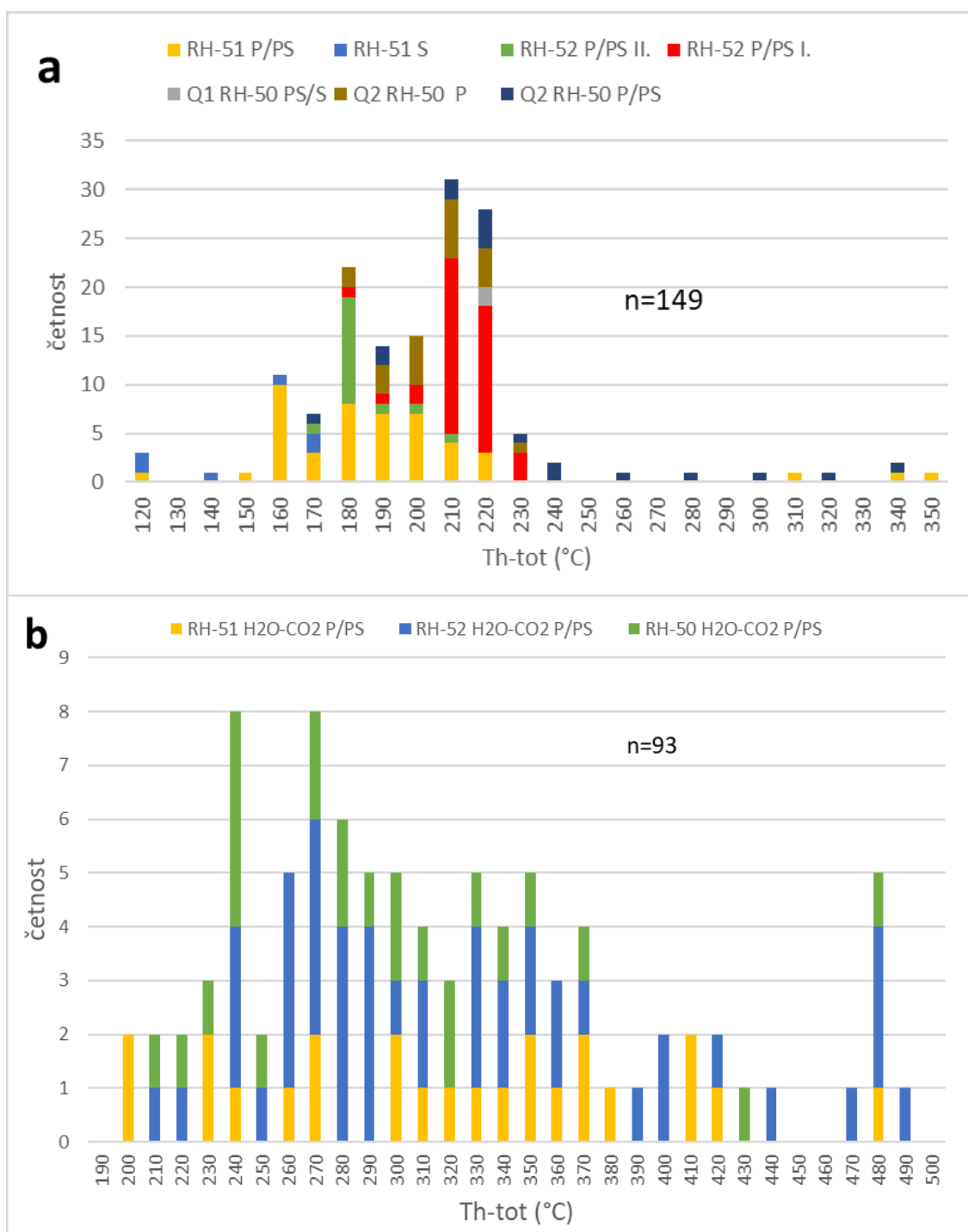
(obr. 26). Teplota tání klatrátu se pohybovala od 9,1 do 12 °C (obr. 27). Parciální homogenizace nevodné fáze probíhala vždy na plyn za teplot od 5,2 do 19,2 °C (obr. 28). Celková homogenizace těchto inkluzí probíhala rovněž na plyn za teplot od 210 do 472 °C (obr. 24b). Přehled všech naměřených mikrotermometrických dat z toho vzorku je uveden v tab. 2.

Tab. 2 Souhrn výsledků mikrotermometrických měření fluidních inkluzí ve vzorcích z Ratibořských Hor (*salinita modelovaná systémem H_2O-CO_2-NaCl podle Diamonda 1992).

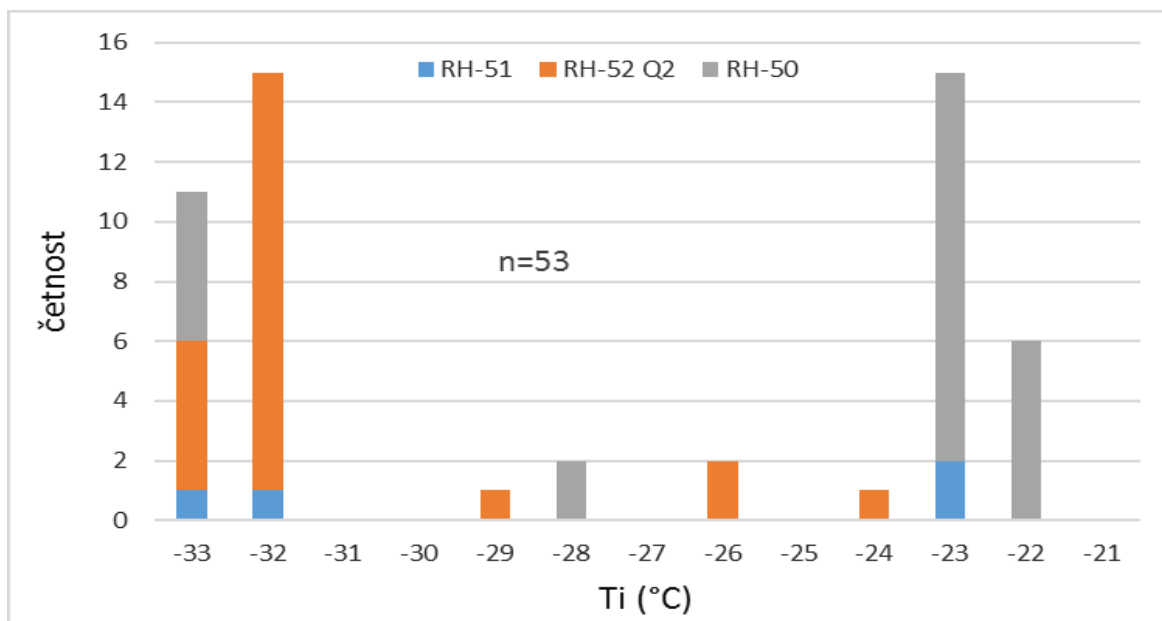
vzorek	RH-50	RH-50	RH-50	RH-50	RH-51	RH-51	RH-51	RH-51	RH-52	RH-52	RH-52
minerál	křemen Q1	křemen Q2	křemen Q2	křemen Q2	křemen	křemen	křemen	křemen	křemen	křemen	křemen
gen. typ	PS/S	P/PS	P	P/PS	P/PS	S	P/PS	P/PS	P/PS I.	P/PS II.	P/PS
typ inkluzí	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O-CO ₂	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O-CO ₂	CO ₂	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O-CO ₂
Th _{tot} (°C)	215-218 (L)	170-443 (L)	175-229 (L)	210-472 (V)	146-220 (L)	120-163 (L)	193-410 (V)	-	179-223 (L)	163-204 (L)	208-489 (V,K)
ThCO ₂ (°C)	-	-	-	5,2-19,2 (V)	-	-	13,3-26,6 (V)	17-21,2 (V)	-	-	-5/24,5 (V)
TmCO ₂ (°C)	-	-	-	-58,2/-57,4	-	-	-58,8/-56,8	-57,6	-	-	-57,8/-56,8
Ti (°C)	-	-28/-23	-33/-22	-	-33/-23,8	-	-	-	-33/-24,3	-32,5/-29,8	-
Tm-CLA (°C)	-	-	-	9,1-12	-	-	7,8-12,9	-	-	-	6,7-12
Tm-ICE (°C)	-4,8	-6,3/-1,3	-4,7/-3,2	-	-4,5/-2,8	-0,7/-0,3	-	-	-7,6/-4,6	-1,9/-0,9	-
salinita (hm. % NaCl ekv.)	7,6	2,2-9,6	5,3-7,5	0-1,8*	4,7-7,2	0,5-1,2	0-4,3*	-	7,3-11,2	1,6-3,2	0-6,2*
stupeň zaplnění	0,85	0,7-0,95	0,85-0,9	0,1-0,4	0,8-0,95	0,9-0,95	0,01-0,4	-	0,7-0,9	0,8-0,9	0,1-0,5



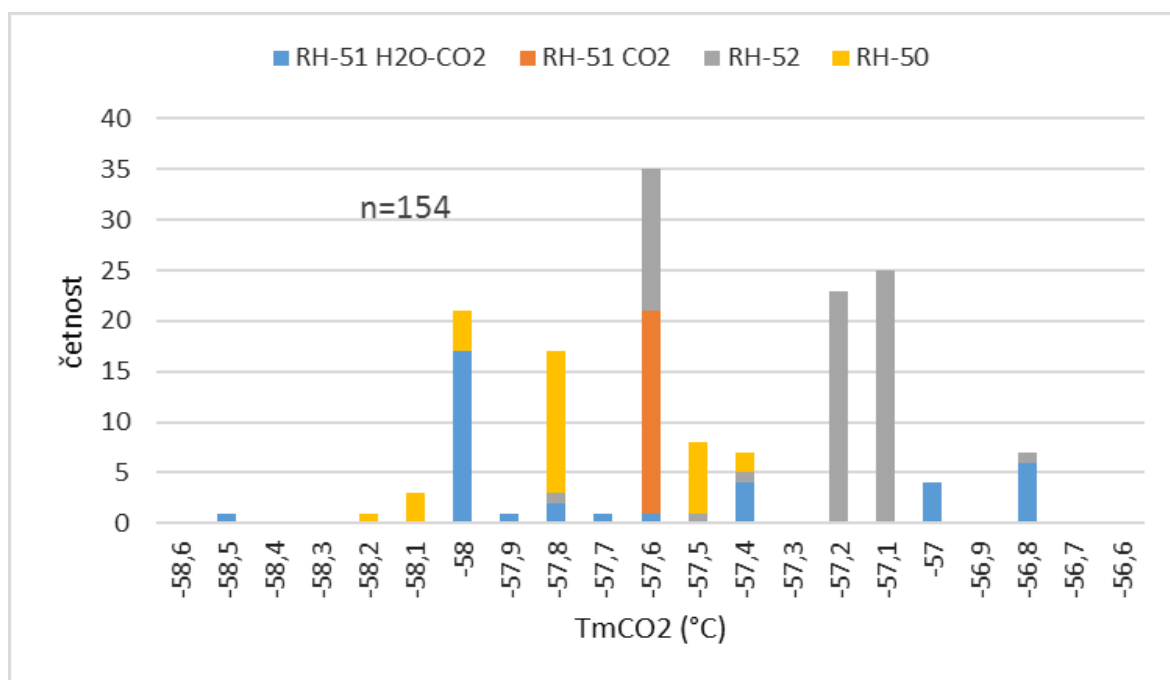
Obr. 23 Histogram teplot tání ledu ve vodných inkluzích ze vzorku RH-50, RH-51 a RH-52 z lokality Ratibořské Hory.



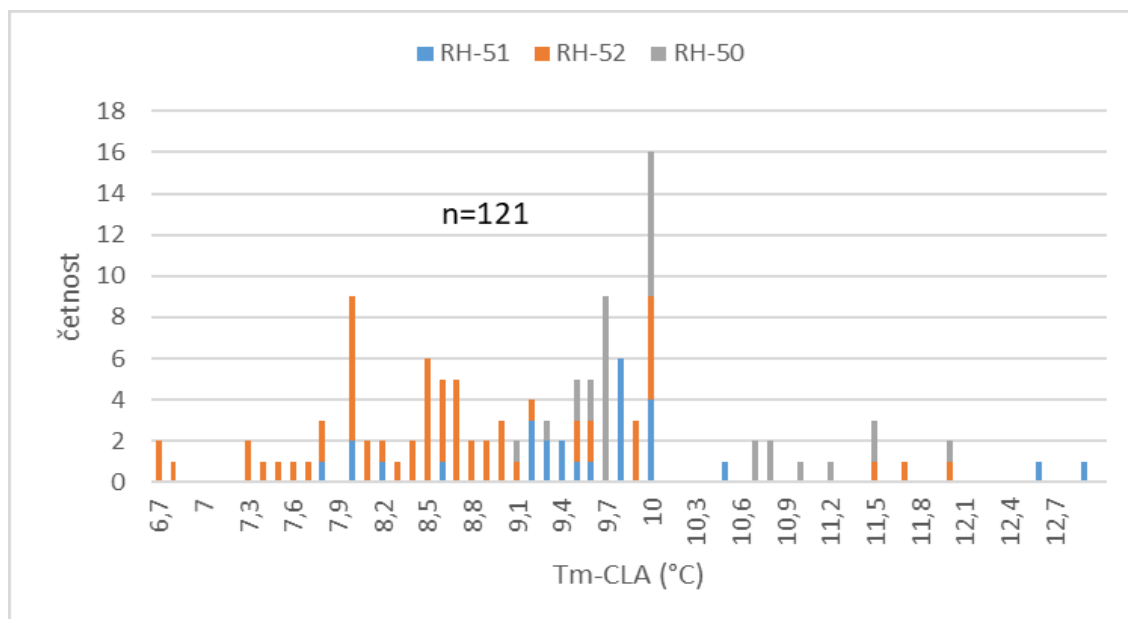
Obr. 24 Histogram teplot celkové homogenizace inkluzí pro inkluze typu H_2O (a) a H_2O-CO_2 (b) ze vzorků RH-50, RH-51 a RH-52 z lokality Ratibořské Hory.



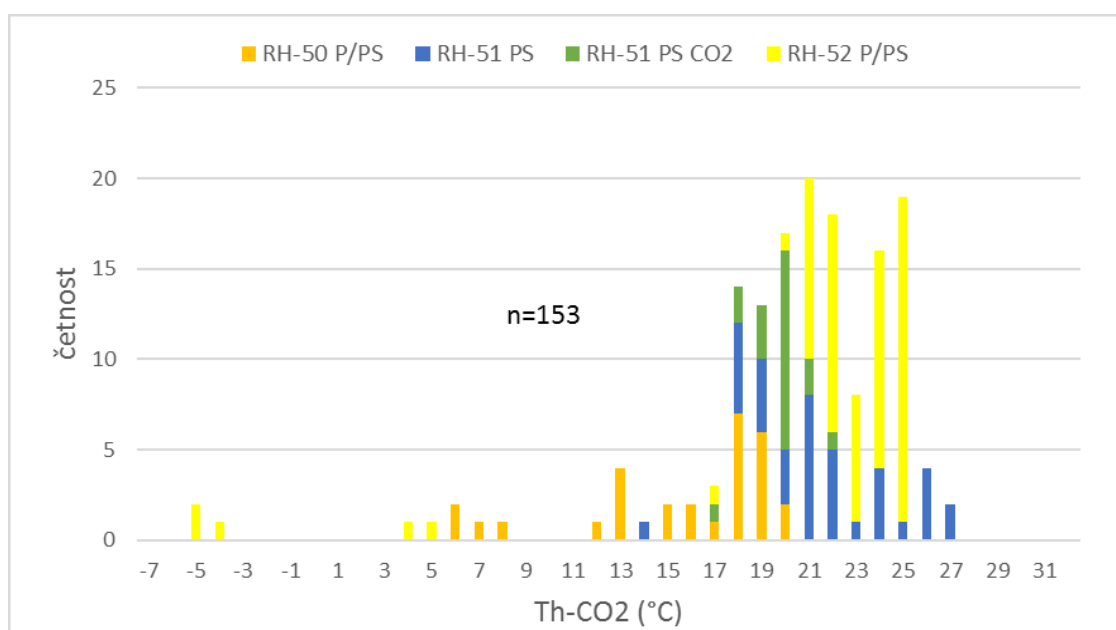
Obr. 25 Histogram teplot iniciálního tání ve vodných inkluzích ze vzorku RH-50, RH-51 a RH-52 z lokality Ratibořské Hory.



Obr. 26 Histogram teplot tání pevného CO₂ v inkluzích ze vzorku RH-50, RH-51 a RH-52 z lokality Ratibořské Hory.



Obr. 27 Histogram teplot tání posledního krystalu klatrátu ve vzorku RH-50, RH-51 a RH-52 z lokality Ratibořské Hory.



Obr. 28 Histogram teplot parciální homogenizace nevodné fáze (na plyn) ve vzorku RH-50, RH-51 a RH-52 z lokality Ratibořské Hory.

Vzorek RH-51

Makropopis:

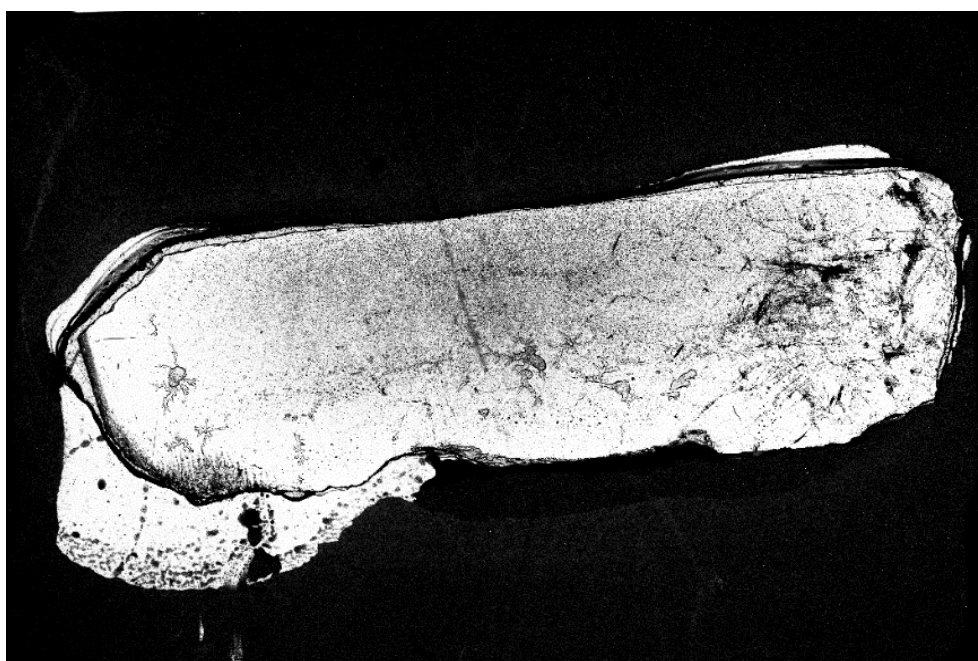
Jedná se o monokrystal (obr. 29) prizmatického křemene s náznakem žezlového vývoje, který je z jedné strany ukončen klencovými plochami. Křemen je čirý, pouze ve spodní části je mírně mléčně zakalen. Na plochách prizmatu je příčné rýhování.



Obr. 29 Vzorek RH-51.

Mikropopis:

Destičku (obr. 30) tvoří jeden automorfně omezený krystal křemene. Řez je veden rovnoběžně s krystalografickou osou *z*. V okrajové části krystalu se podél jedné růstové zóny vyskytují pevné inkluze xenomorfně omezeného, nepleochroického minerálu s vystupujícím reliéfem oproti křemeni. Spodní část krystalu je zakalena četnými fluidními inkluzemi.

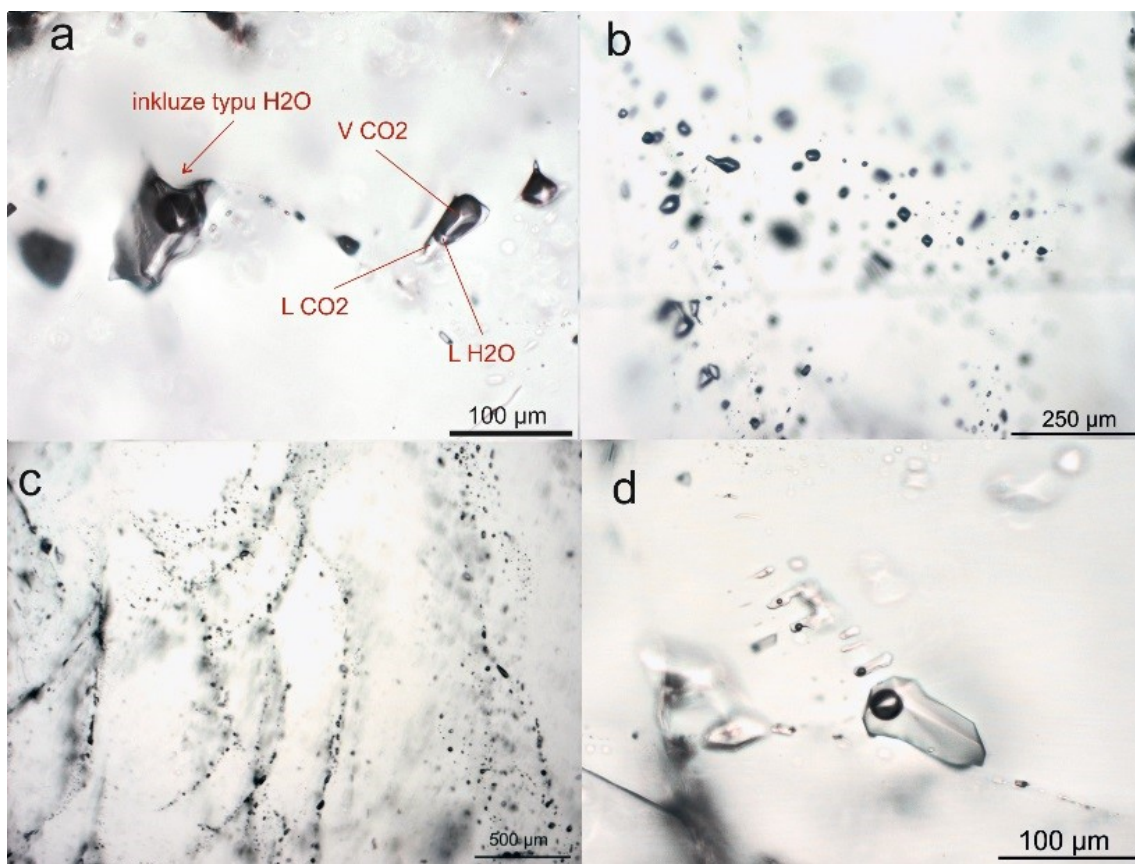


Obr. 30 Naskenovaná oboustranně leštěná destička ze vzorku RH-51.

Fluidní inkluze:

Petrografický popis:

Ve vzorku RH-51 je přítomno více typů fluidních inkluzí. U kořene krystalu se vyskytují trailly sekundárních dvoufázových vodných inkluzí (typ H_2O S). Mají převážně okrouhlé a protáhlé tvary. Jejich velikost se pohybuje od 1 μm do 25 μm . Plynná fáze u těchto inkluzí zaujímá 5-10 obj. %. Dalším typem fluidních inkluzí jsou inkluze typu H_2O - CO_2 (obr. 31a) primárního až pseudosekundárního charakteru, které jsou převažujícím typem fluidních inkluzí v tomto vzorku. Tyto inkluze tvoří nejčastěji vzájemně se křižující trailly (obr. 31c) nebo menší skupinky, které se vyskytují převážně ve spodní části krystalu. Nevodná fáze zaujímá cca 10-40 obj. %. Velikost těchto inkluzí se pohybuje od 1 μm do 70 μm a jejich tvar je nejčastěji kulovitý, často s nepravidelnými výběžky, běžné jsou i tvary negativního krystalu. Dále se v tomto vzorku vyskytují inkluze typu CO_2 primárního až pseudosekundárního charakteru (obr. 31b). Tvoří nejčastěji samostatné trailly či klastry nebo se vyskytují na trailech společně s inkluzemi typu H_2O - CO_2 . Jejich velikost se pohybuje mezi cca 10 a 50 μm . Jejich tvar je kulovitý nebo mají tvar negativního krystalu. Poslední typ fluidních inkluzí vyskytující v tomto vzorku jsou vodné dvoufázové inkluze primárního až pseudosekundárního charakteru (typ H_2O P/PS). Tyto inkluze se vyskytují hlavně na trailech a ve skupinkách (obr. 31d) ve spodní části krystalu spolu s inkluzemi typu H_2O - CO_2 a CO_2 a ve střední části krystalu, kde jsou jediným typem inkluzí. Jejich



Obr. 31 Příklady fluidních inkluzí ze vzorku RH-51. Oboustranně leštěná destička, procházející světlo, PPL. P/PS fluidní inkluze typu H_2O - CO_2 na trailu s inkluzí typu H_2O P/PS (a); inkluze typu CO_2 (b); protínající se trailly inkluzí typu H_2O - CO_2 P/PS (c); trail P/PS vodných inkluzí (d).

velikost se pohybuje od 4 do 60 μm . Plynná fáze zaujímá 10-15 obj. %. Mají protažený nebo okrouhlý tvar někdy s výběžky. U inkluzí typu H_2O P/PS, typu H_2O S a typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ jsem pozorovala často proces zaškrcování fluidních inkluzí, a proto byly k měření vybrány inkluze, které se zdály, že tímto procesem neprošly. Apikální část krystalu je téměř bez fluidních inkluzí.

Výsledky mikrotermometrie:

Primární až psudosekundární inkluze typu H_2O vymrzaly za teplot okolo -35°C . Teplota iniciálního tání se pohybovala mezi -33 a $-23,8^\circ\text{C}$ (obr. 25). Poslední krystal ledu roztál při $-4,5$ až $-2,8^\circ\text{C}$ (obr. 23), čemuž odpovídá salinita 4,7-7,2 hm. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Tyto inkluze homogenizovaly vždy na kapalinu za teplot $134-220^\circ\text{C}$ (obr. 24). Sekundární vodné inkluze v tomto vzorku vymrzaly rovněž za teplot okolo -35°C . Tání posledního krystalu ledu proběhlo při $-0,7$ až $-0,3^\circ\text{C}$ (obr. 23), což značí salinitu 0,5-1,2 hm. % NaCl ekv. podle Bodnara (1993). Tyto inkluze homogenizovaly na kapalinu v teplotním rozmezí $120-163^\circ\text{C}$ (obr. 24). Primární až pseudosekundární inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ vymrzaly za teplot -98 až -80°C . Tání CO_2 proběhlo při $-58,8$ až $-56,8^\circ\text{C}$ (obr. 26). Poslední krystal klatrátu roztál při $7,8-12,9^\circ\text{C}$ (obr. 27). Parciální homogenizace nevodné fáze probíhala vždy na plyn v rozmezí teplot $13,3-26,6^\circ\text{C}$ (obr. 28). Tyto inkluze homogenizovaly vždy na plyn při $193-418^\circ\text{C}$ (nejčastěji mezi $300-380^\circ\text{C}$, obr. 24). Inkluze typu CO_2 vymrzaly okolo -98°C . CO_2 roztálo při $-57,6^\circ\text{C}$ (obr. 26). Homogenizace probíhala vždy na plyn v teplotním rozmezí $17-21,2^\circ\text{C}$ (obr. 27). Rozsahy naměřených mikrotermometrických parametrů z toho vzorku jsou uvedeny v tab. 2.

Vzorek RH-52

Makropopis:

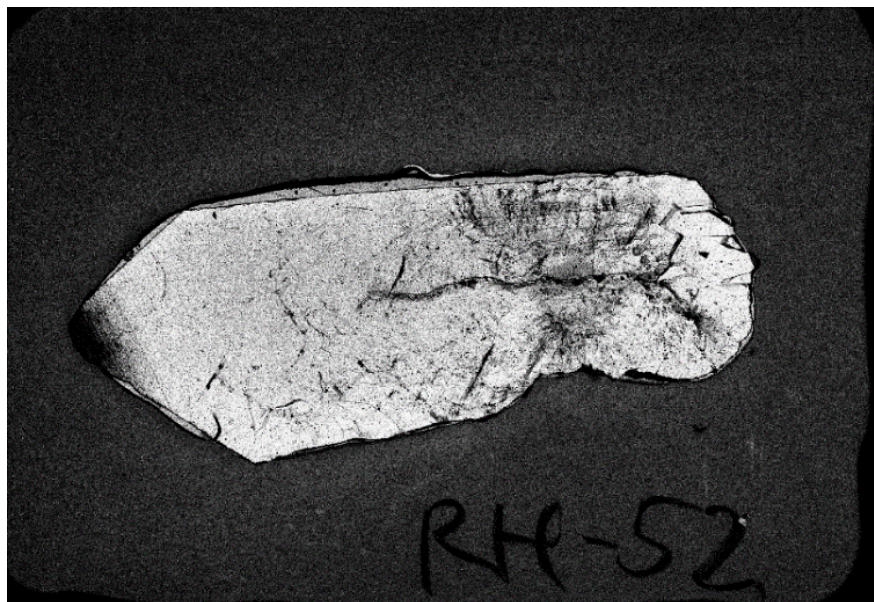
Vzorek tvoří jeden prizmatický monokrystal křemene, který je z obou stran ukončen klencovými plochami. Křemen je převážně čirý, v jedné polovině krystalu mléčně zakalený.



Obr. 32 Vzorek RH-52.

Mikropopis:

Na starší automorfně omezený malý krystal křemene (Q1) narůstá, podobně jako ve vzorku RH-50, mladší velký krystal křemen (Q2), který zachycuje destička (obr. 33) v řezu rovnoběžném s osou z. Od konce křemene Q1 do půlky krystalu Q2 vede velká trhlina. Křemen Q1 neobsahuje žádné fluidní inkluze.

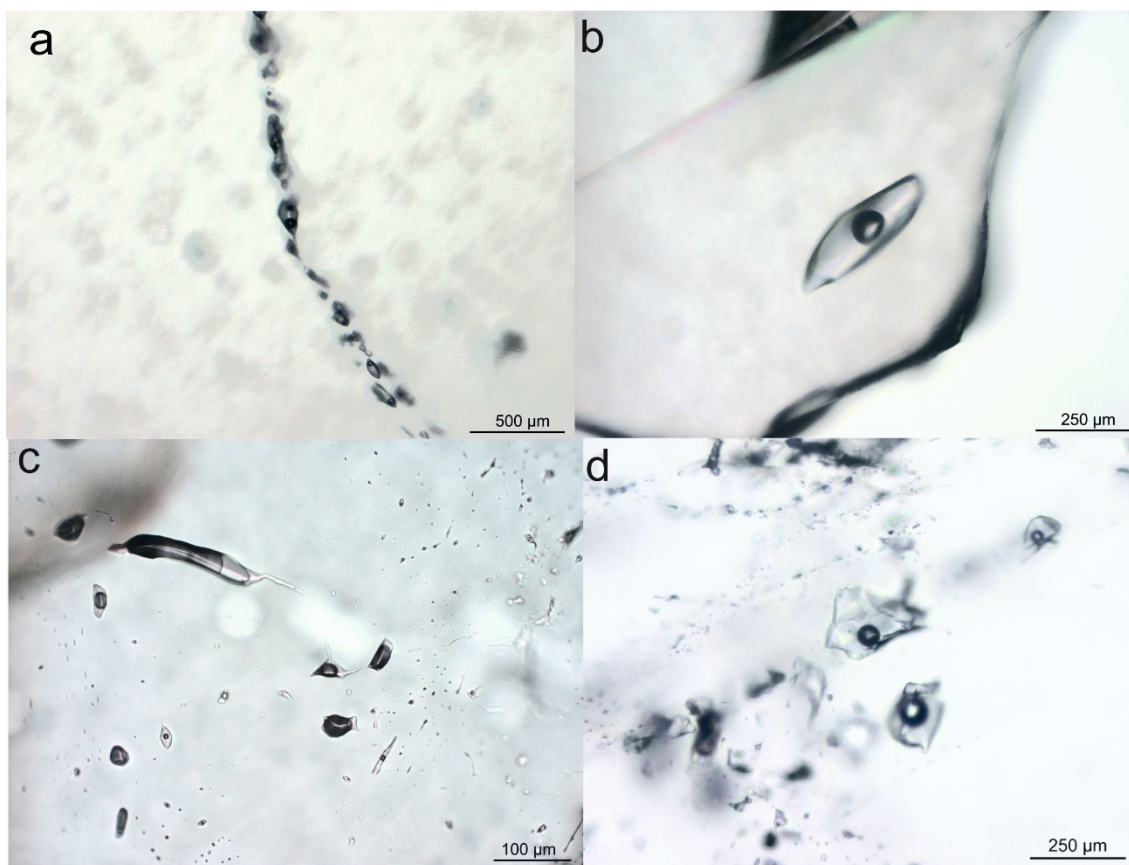


Obr. 33 Naskenovaná oboustranně leštěná destička ze vzorku RH-52

Fluidní inkluze:

Petrografický popis:

V křemeni Q2 se vyskytují dva typy vodných inkluzí a inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. Oba typy vodných inkluzí mají primární až pseudosekundární charakter. Typ H_2O P/PS I. (obr. 34d) se vyskytuje společně s inkluzemi typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ převážně ve střední části krystalu na trailech, ve shlucích i soliterně. Jedná se o L+V a zřídka i L+V+S fluidní inkluze, přičemž pevná fáze byla heterogenně zachycená a zaujímá 10-30 obj. %. Pevnou fází je xenomorfně omezený, nepleochroický minerál s nevýrazným reliéfem tvořící tenké šupinky. Pravděpodobně jde o nějaký fylosilikát. Inkluze typu H_2O P/PS I. mají nepravidelné, protažené a okrouhlé tvary. Jejich velikost se pohybuje od 2 do 60 μm . Plynná fáze zaujímá 5-20 obj. %. Inkluze typu H_2O P/PS II. (obr. 34a,b) představují malé množství L+V inkluzí vyskytujících se ve vrcholové části krystalu na trailech nebo soliterně. Tyto inkluze mají okrouhlý nebo protáhlý tvar. Jejich velikost se pohybuje nejčastěji od 10 do 45 μm , avšak jedna soliterní inkluze měří cca 100 μm . Plynná fáze zaujímá 10-20 obj. %. Inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ pseudosekundárního charakteru (obr. 34c) se vyskytují převážně na trailech, ale i ve shlucích. Mají nepravidelné, protažené a okrouhlé tvary, někdy s výběžky. Jejich velikost se pohybovala od 5 do 70 μm . Nevodná fáze zaujímá 10 až 50 obj. %. U inkluzí typu H_2O P/PS I. a typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ jsem pozorovala často proces zaškrcování fluidních inkluzí, a proto byly k měření vybrány inkluze, které se zdály, že tímto procesem neprošly.



Obr. 34 Příklady fluidních inkluzí ze vzorku RH-52. Oboustranně leštěná destička, procházející světlo, PPL. P/PS fluidní inkluze typu H_2O II. (a, b); plynem bohaté inkluze typu H_2O-CO_2 (c); trail P/PS inkluzí typu H_2O I. (d).

Výsledky mikrotermometrie:

Primární až pseudosekundární inkluze typu H_2O I. vymrzaly za teplot okolo $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota iniciálního tání se pohybovala mezi $-33,0$ a $-24,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 25). Poslední krystal ledu tál při $-7,6$ až $-4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 23), což značí salinitu 7,3-11,2 hm. % ekv. NaCl (Bodnar 1993). Homogenizace těchto inkluzí probíhala vždy na kapalinu při $179-223\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 24). Primární až pseudosekundární inkluze typu H_2O II. vymrzaly mezi -33 a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota iniciálního tání těchto inkluzí se pohybovala od $-32,5$ do $-29,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 25). Poslední krystal ledu tál při $-1,9$ až $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 23), čemuž odpovídá salinita 1,6-3,2 hm. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Homogenizace těchto inkluzí probíhala vždy na kapalinu za teplot $163-204\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 24). Inkluze typu H_2O-CO_2 vymrzaly v tomto vzorku při -97 až $-94\text{ }^{\circ}\text{C}$. K tání CO_2 docházelo za teplot $-57,8$ až $-56,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 26). Parciální homogenizace nevodné fáze probíhala vždy na plyn v rozsahu teplot -5 až $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 27). Poslední krystal klatrátu tál při teplotě $6,7-12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 28). K celkové homogenizaci docházelo téměř vždy na plyn, jedna inkluze homogenizovala kritickým způsobem. Tyto inkluze homogenizovaly při $208-489\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 24). Přehled všech naměřených mikrotermometrických parametrů z tohoto vzorku je uveden v tab. 2.

6.1.3 Stříbrná Skalice

Vzorek SS-22

Makropopis:

Vzorek je tvořen hrubě tabulkovitými agregáty nažloutlého barytu.

Mikropopis:

Baryt (obr. 35) tvoří ve vzorku tenké až silné nepravidelně uspořádané tabulky, místy s viditelnou štěpností, které jsou hypautomorfně až xenomorfně omezeny. Baryt je hojně rozpraskaný a převážně silně zakalený fluidními inkluzemi a limonitem. Dutinky mezi jednotlivými tabulkami barytu jsou vyplněny hypautomorfně až xenomorfně omezenými izometrickými zrny sukcesně mladšího křemene.

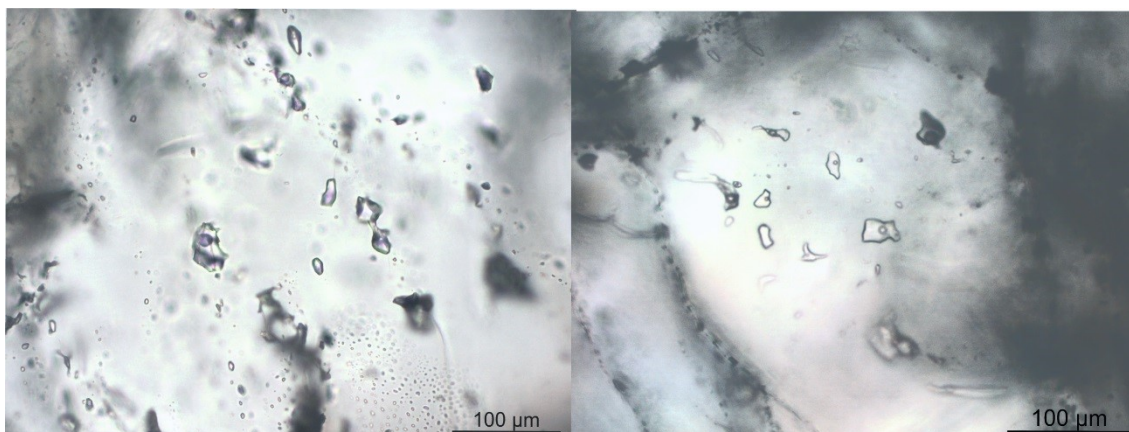


Obr. 35 Naskenovaná oboustranně leštěná destička ze vzorku SS-22.

Fluidní inkluze:

Petrografický popis:

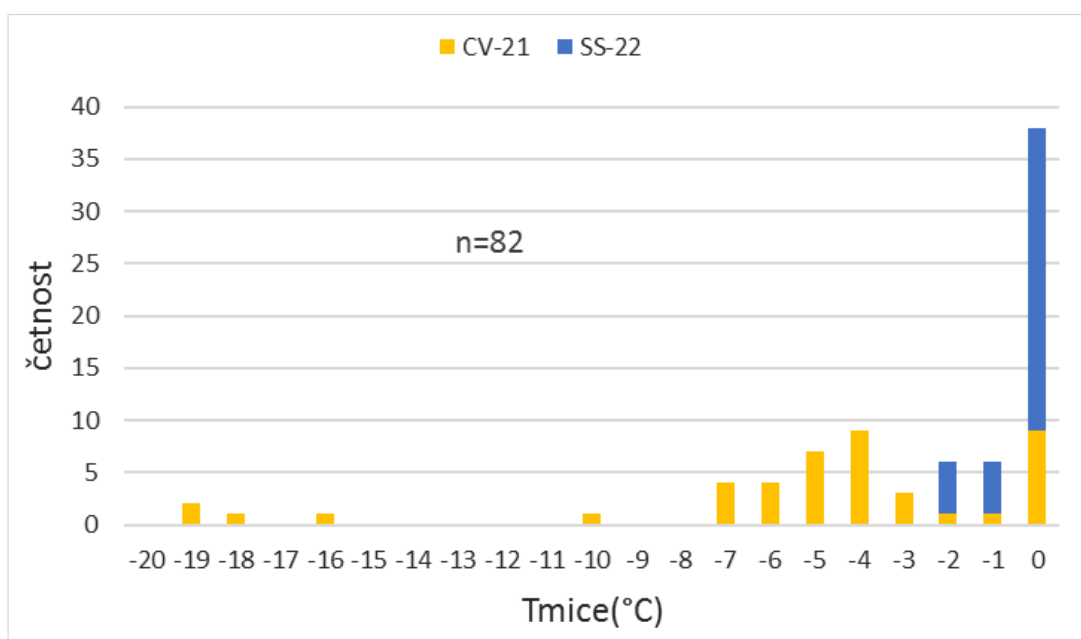
V barytu se vyskytují pouze vodné inkluze (obr. 36). Tyto inkluze byly převážně jednofázové, méně často se vyskytují dvoufázové fluidní inkluze. Jejich tvar je okrouhlý, protažený nebo některé inkluze mají tvar negativního krystalu. Vyskytují se na trailech, v klastrech, ale i solitérně. Stupeň zaplnění u dvoufázových inkluzí je poněkud variabilní. Plynná fáze zaujímá od 5 do 20 obj. %. V důsledku toho, že krystal nebyl automorfně omezen a v důsledku uspořádání fluidních inkluzí nebylo možné určit jejich genetický charakter a vzájemný vztah. Velikost fluidních inkluzí se pohybovala od 1 μm do 30 μm . V barytu byly často přítomny tmavé plynné inkluze, které nereagovaly při mikrotermometrii. Křemen je z velké části bez fluidních inkluzí, někdy se vyskytují tmavé drobné inkluze.



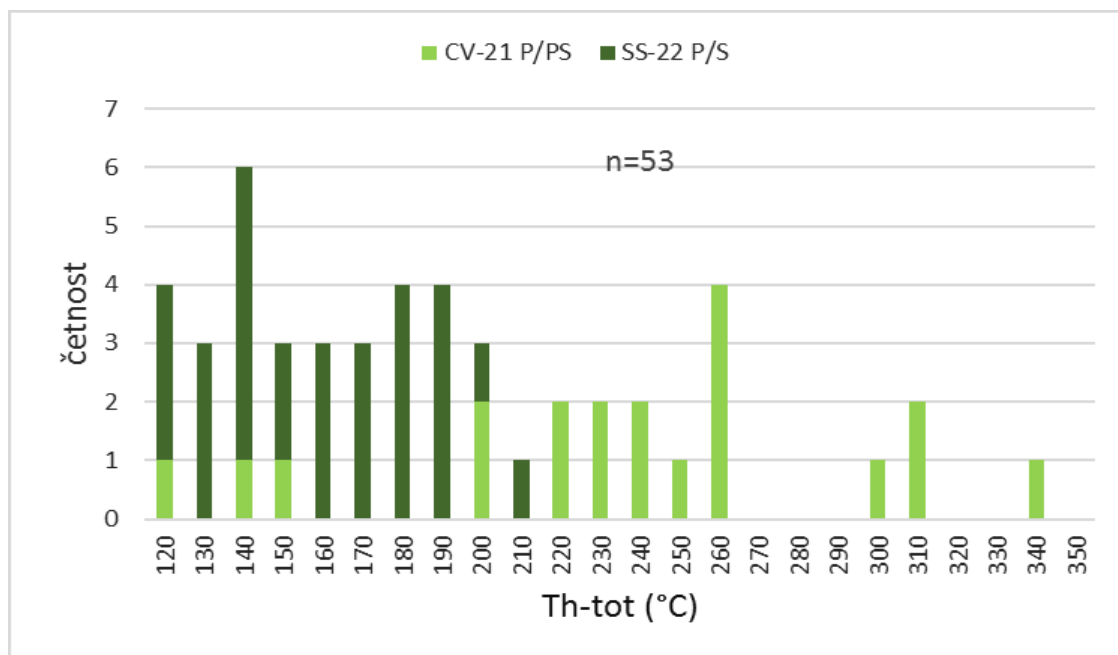
Obr. 36 Příklady fluidních inkluzí v barytu ze vzorku SS-22, oboustranně leštěná destička, procházející světlo, PPL.

Výsledky mikrotermometrie:

Vodné P/PS inkluze v tomto vzorku vymrzaly od -28 do -40 °C. Poslední krystal ledu tál v nízkém rozmezí teplot od -2 do 0 °C (obr. 37), čemuž odpovídá salinita 0-3,4 hm. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Homogenizace probíhala vždy na kapalinu za teplot $108-205$ °C (obr. 38). Přehled všech naměřených mikrotermometrických dat z toho vzorku je uveden v tab. 3.



Obr. 37 Histogram teplot tání posledního krystalu ledu v inkluzích v barytu ze vzorků SS-22 a CV-21.



Obr. 38 Histogram homogenizačních teplot inkluzí v barytu ze vzorků SS-22 a CV-21.

Tab. 3 Přehled výsledků mikrotermometrických měření fluidních inkluzí v barytu ze vzorků ze Stříbrné Skalice (SS-22) a Černých Voděrads (CV-21).

Vzorek	CV-21	SS-22
Minerál	baryt	baryt
genetický typ	P/PS	P/S
Systém	H ₂ O	H ₂ O
Th _{tot} (°C)	92-339 (L)	108-205 (L)
Ti (°C)	-50/-22,8	-
Tmice (°C)	-19,8/0	-2/0
salinita (hm. % NaCl ekv.)	0-22,3	0-3,4
stupeň zaplnění	0,65-0,95	0,8-0,95

6.1.4 Černé Voděrady

Vzorek CV-21

Makropopis:

Jedná se o hrubě tabulkovité agregáty narůžovělého barytu.

Mikropopis:

Baryt (obr. 39) je ve vzorku tvořen automorfně až hypautomorfně omezenými podlouhlými tabulkami, které jsou místy vějířovitě uspořádány. Baryt je lehce až silně zakalený fluidními inkluzemi a limonitem. Je hojně rozpraskán a často lze pozorovat štěpnost. Drobné žilky

a dutinky mezi krystaly barytu jsou vyplněny hypautomorfně až xenomorfně omezeným izometrickým křemenem.

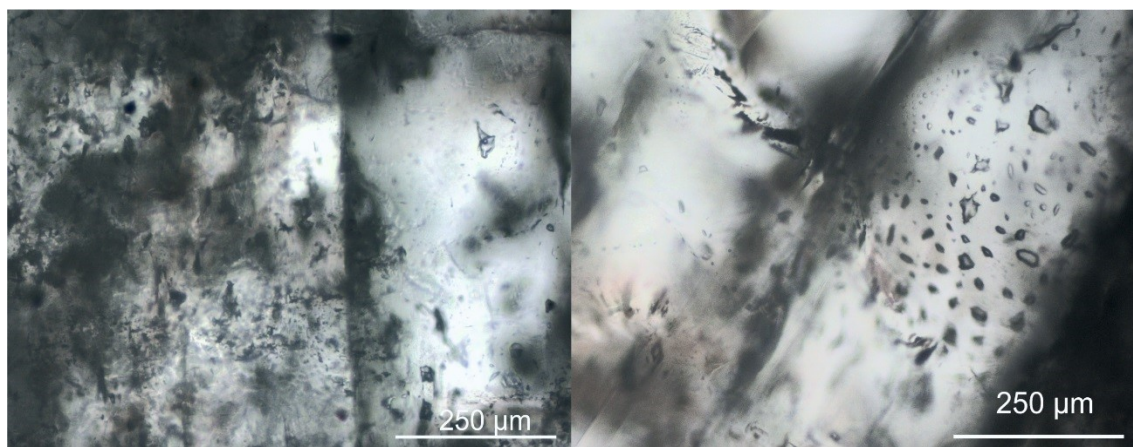


Obr. 39 Naskenovaná oboustranně leštěná destička ze vzorku CV-21.

Fluidní inkluze:

Petrografický popis:

V barytu převažují traily či klastry jednofázových vodných drobných inkluzí okrouhlého a nepravidelného tvaru (obr. 40). Jejich velikost se pohybuje od <1 do $5\ \mu\text{m}$. Dále se vyskytují primární až pseudosekundární vodné inkluze zachycené na trailech a ve skupinkách. Jedná se o jednofázové i dvoufázové fluidní inkluze (obr. 40). Jejich velikost se pohybuje od 5 do $25\ \mu\text{m}$. Mají protáhlý a nepravidelný tvar. Stupeň zaplnění u dvoufázových inkluzí je velmi variabilní, přičemž plynná fáze u dvoufázových inkluzí zaujímá 5-35 obj. %. Je zde pozorovatelný i proces zaškrcování inkluzí. Vyskytuje se zde značné množství tmavých plynných inkluzí nereagujících

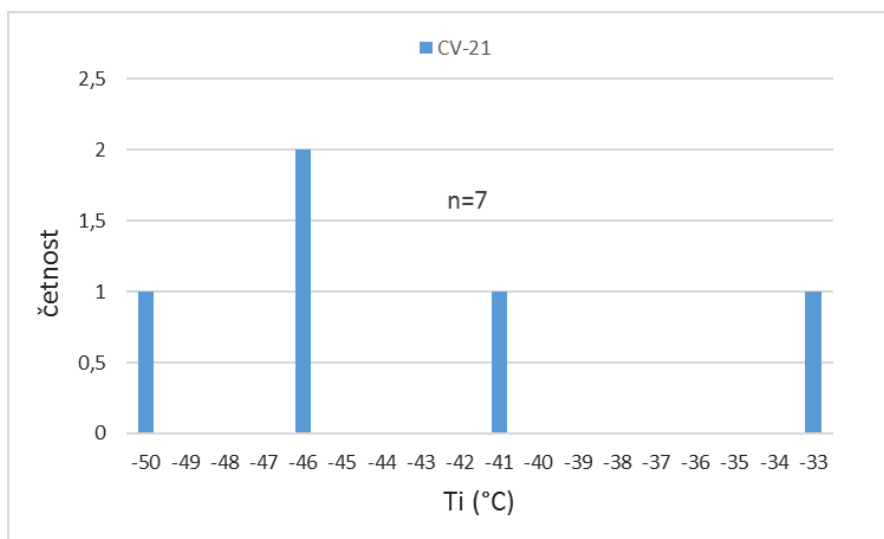


Obr. 40 Příklady fluidních inkluzí v barytu ze vzorku CV-21, oboustranně leštěná destička, procházející světlo, PPL. Dvoufázová solitérní vodná inkluze (vlevo); klastér jednofázových vodných inkluzí (vpravo).

při mikrotermometrických měřeních. Křemen je místně zakalen drobnými (pod 1 μm) fluidními inkluzemi vyskytujícími se na vyhojených trhlinách, převážně však žádné inkluze neobsahuje, a proto nebyly žádné inkluze v křemeni podrobeny mikrotermometrickému měření.

Výsledky mikrotermometrie:

Vodné inkluze v tomto vzorku vymrzaly od -35 do -100 $^{\circ}\text{C}$. Teplota iniciálního tání se pohybovala v rozmezí v širokém rozmezí teplot od -50 do $-22,8$ $^{\circ}\text{C}$ (obr. 41). Poslední krystal ledu tál od $-19,8$ do 0 $^{\circ}\text{C}$ (obr. 37), což indikuje salinitu 0-22,3 % hm. NaCl ekv.). K homogenizaci docházelo vždy na kapalinu v rozmezí 108-205 $^{\circ}\text{C}$ (obr. 38). Rozsahy naměřených mikrotermometrických parametrů z toho vzorku jsou uvedeny v tab. 3.



Obr. 41 Histogram teplot iniciálního tání v inkluzích v barytu ze vzorků CV-21.

6.2 Ramanova spektrometrie

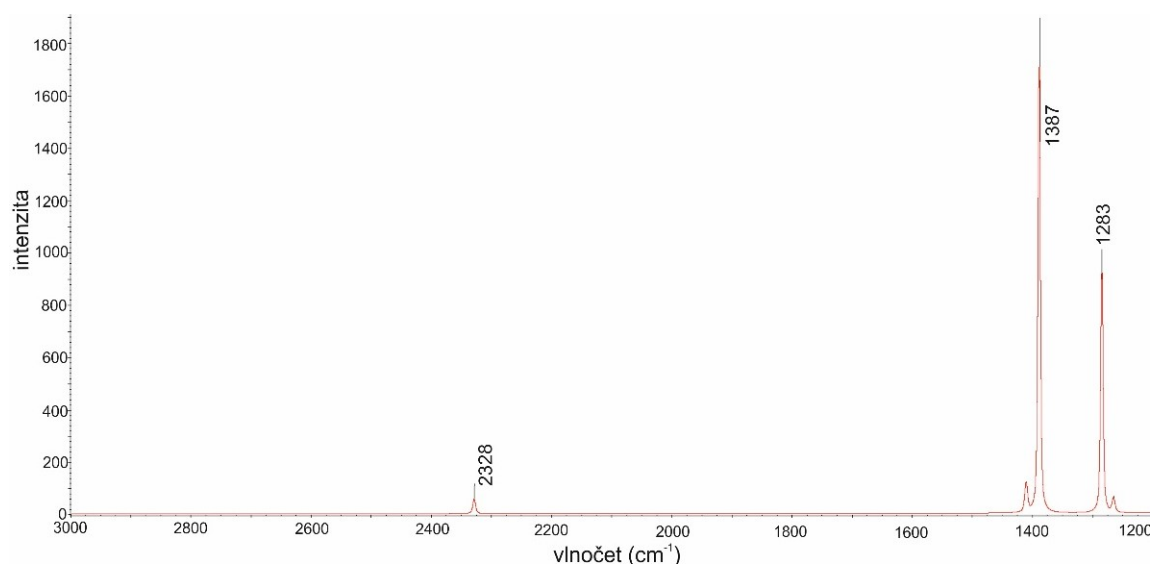
Nevodné fáze vybraných 43 fluidních inkluzí ze vzorků z Ratibořských Hor a Staré Vožice byly zkoumány na Ramanově spektrometru. Rozsahy naměřených hodnot v různých typech inkluzí jsou zobrazeny v tab. 4. Ve všech typech inkluzí byla zjištěna přítomnost CO_2 , N_2 a ve většině inkluzí i CH_4 .

Tab. 4 Chemické složení nevodných fází z fluidních inkluzí ze vzorků z Ratibořských Hor a Staré Vožice stanovené Ramanovou spektrometrií.

lokalita	Vzorek	typ inkluzí	CO_2 (mol. %)	N_2 (mol. %)	CH_4 (mol. %)
Ratibořské Hory	RH-50	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	74,4-85,3	12,2-20,6	2,5-5,0
	RH-50	H_2O	73,7-79,8	16,4-21,4	3,9-5,0
	RH-51	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	84,9-89,9	5,3-8,6	4,6-6,5
	RH-51	CO_2	84,9-85,7	8,3-8,8	5,7-6,3
	RH-52	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	75,4-89,6	8,3-19,3	2,1-5,3
	RH-52	H_2O	89,0	8,8	2,2
Stará Vožice	SV-5K	CO_2	86,8-94,2	5,1-11,7	0,7-2,9
	SV-5K	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	89,5	8,9	1,6
	SV-35	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	95,5-97,6	2,4-4,5	0,0

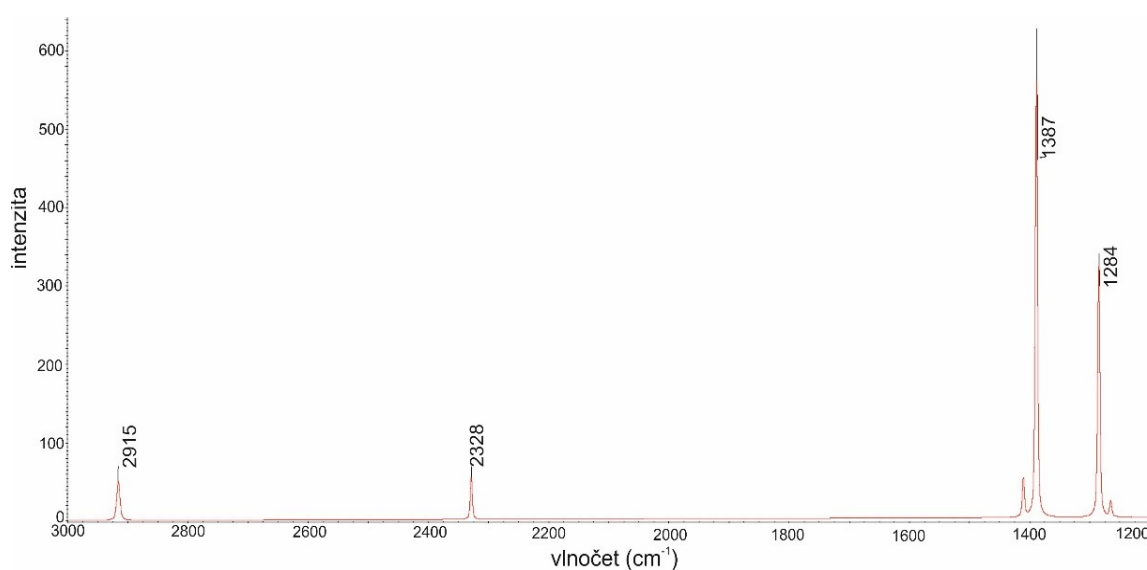
6.2.1 Stará Vožice

V nevodné fázi kapalinou bohatých inkluzích typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ve vzorku SV-35 (tab. 4, obr. 42) značně převažoval CO_2 (95,5-97,6 mol. %) nad N_2 (2,4-4,5 mol. %). Metan nebyl v tomto vzorku detekován.



Obr. 42 Ramanovské spektrum nevodné fáze inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ze vzorku SV-35 ze Staré Vožice.

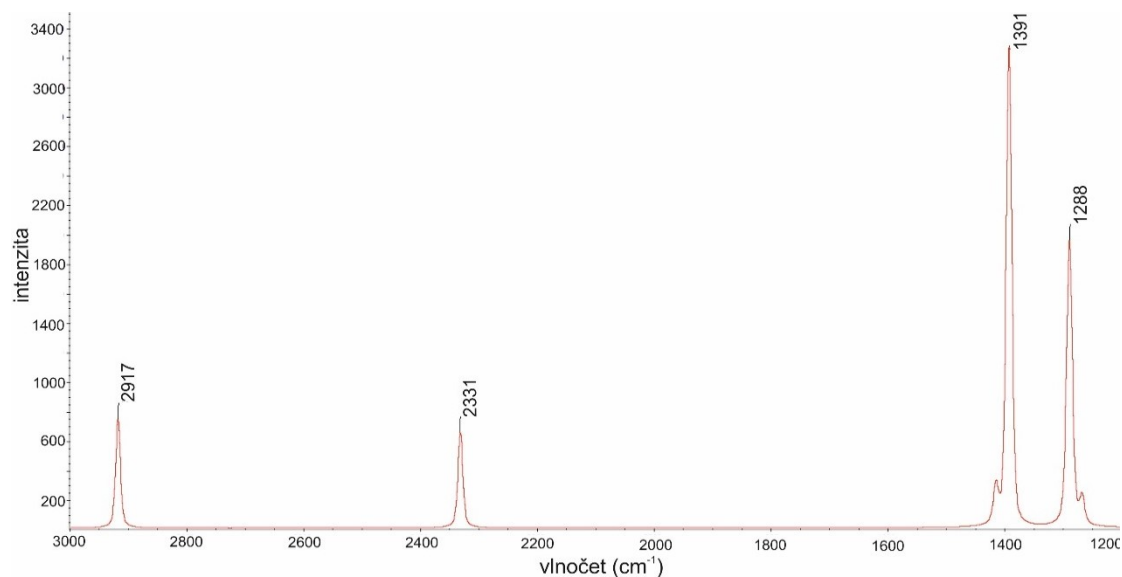
V plynných inkluzích (typ CO_2) ve vzorku SV-5K (tab. 4, obr. 43) převažoval CO_2 (86,8-94,2 mol. %) nad N_2 (5,1-11,7 mol. %) a CH_4 (0,7-2,9 mol. %). V jedné měřené inkluzi typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ bylo naměřeno obdobné množství CO_2 (89,5 mol. %), N_2 (8,9 mol. %) a CH_4 (1,6 mol. %) jako u téměř čistě plynných inkluzí.



Obr. 43 Ramanovské spektrum nevodné fáze inkluze typu CO_2 ze vzorku SV-5K ze Staré Vožice.

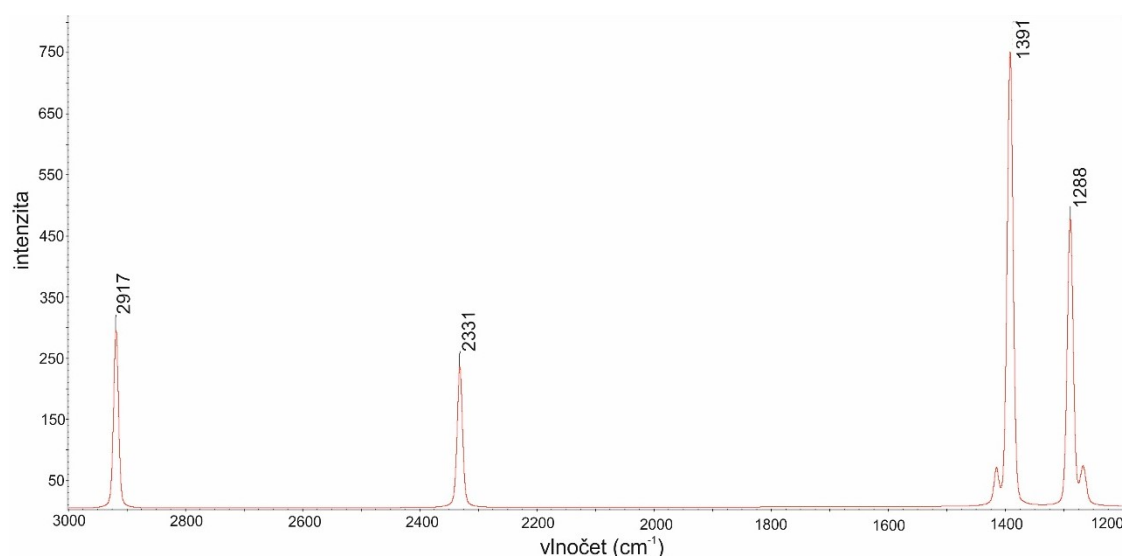
6.2.2 Ratibořské Hory

V plynné bohatých inkluzích typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ze vzorků RH-50 (tab. 4, obr. 44) a RH-52 byly plynné fázi naměřeny podobné rozsahy obsahů CO_2 (74,4-89,6 mol. %), N_2 (8,3-20,6 mol. %) a CH_4 (2,1-5,3 mol. %).



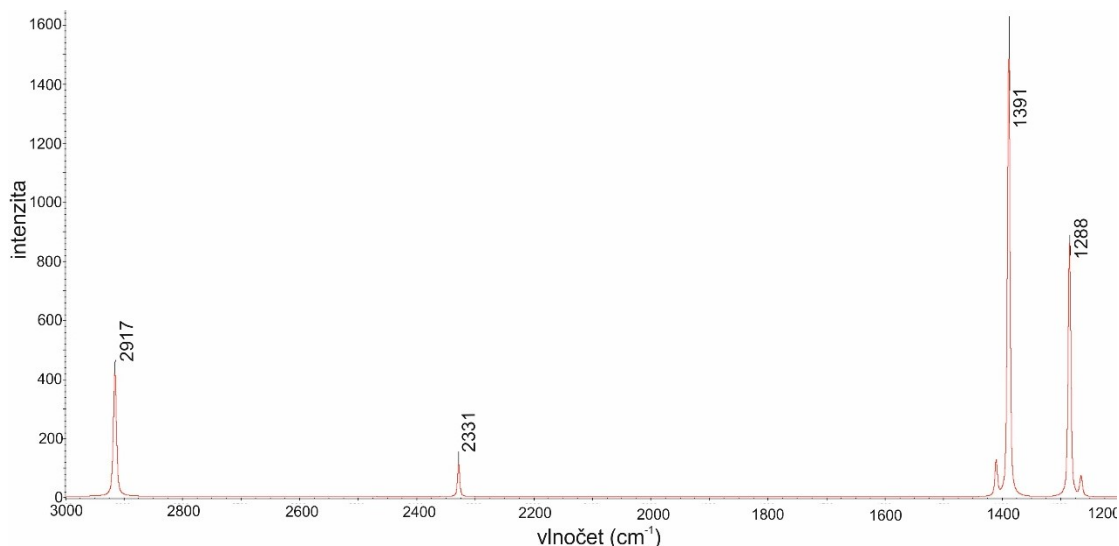
Obr. 44 Ramanovské spektrum nevodné fáze inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ze vzorku RH-50 z Ratibořských Hor.

Ověřovány byly i plynné fáze kapalinou bohatých inkluzí typu H_2O , ve kterých nebylo pomocí mikrotermometrie detekováno CO_2 , N_2 ani CH_4 . Naměřené obsahy CO_2 (84,9-89,0 mol. %), N_2 (8,8-21,6 mol. %) a CH_4 (2,2-5 mol. %) se pohybují v podobných rozsazích jako u inkluzí typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ (tab. 4, obr. 45).



Obr. 45 Ramanovské spektrum plynné fáze inkluze typu H_2O ze vzorku RH-50 z Ratibořských Hor.

V inkluzích typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ze vzorku RH-51 (tab. 4, obr. 46) bylo oproti předchozím dvěma vzorkům přítomno v plynné fázi větší množství CO_2 (84,9-89,9 mol. %), zatímco N_2 bylo zastoupeno o něco v menší míře (5,3-8,6 mol. %) a obsah CH_4 byl lehce zvýšený či obdobný (4,6-6,5 mol. %).



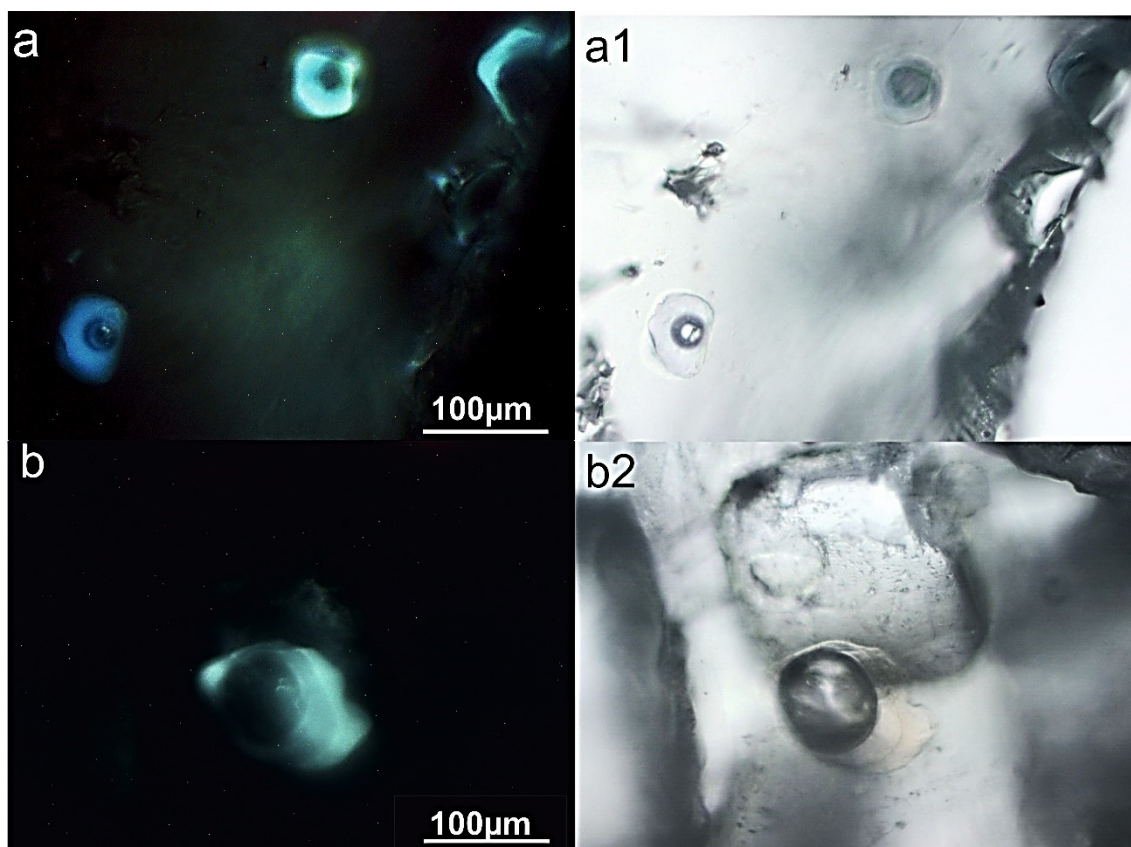
Obr. 46 Ramanovské spektrum plynné fáze inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ze vzorku RH-51 z Ratibořských Hor.

V inkluzích typu CO_2 byly v tomto vzorku naměřeny téměř shodné obsahy CO_2 , CH_4 i N_2 jako u inkluzí typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. V plynné fázi kapalinou bohatých inkluzí typu H_2O v tomto vzorku nebyla zjištěna na Ramanově spektrometrii přítomnost žádných plynů.

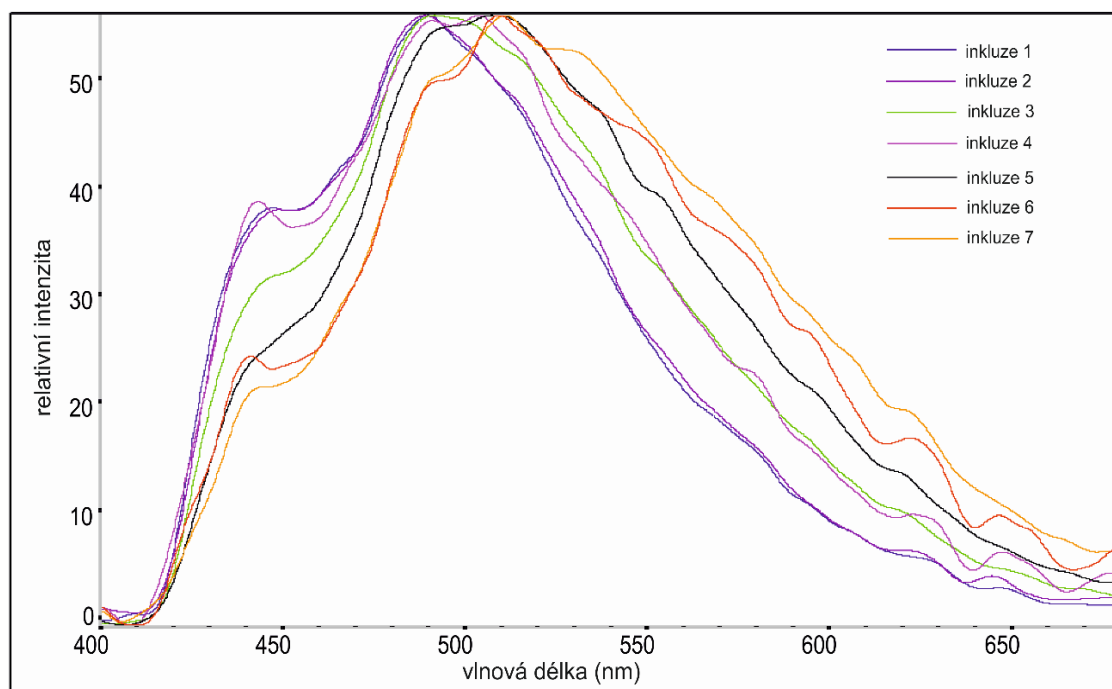
6.3 Fluorescenční spektrometrie

Všechny vzorky byly podrobeny studiu pod fluorescenčním mikroskopem. Pouze ve vzorku SV-5K ze Staré Vožice byly přítomny inkluze vykazující slabou až středně intenzivní fluorescenci, která svědčí o přítomnosti ropných uhlovodíků. Tyto inkluze jsou vázány pouze na zóny s inkluzemi barytu, dosahují poměrně velkých rozměrů (30-100 μm), mají různé fázové složení ($\text{L}+\text{V}$, L , $\text{L}+\text{V}+\text{S}$ a $\text{L}_1+\text{L}_2+\text{V}$) a velmi variabilní stupeň zaplnění ($F=0,1-1$). U některých inkluzí byly kapaliny v PPL bezbarvé, ale některé měly nahnědlou barvu. V případě $\text{L}_1+\text{L}_2+\text{V}$ inkluzí byly nahnědlé obě kapaliny. Barva fluorescence těchto inkluzí se různila od modré přes světle modrozelenou až po zelenožlutou (obr. 47). Fluorescenci vykazovaly obě kapalně fáze (L_1 i L_2). V některých případech se jejich fluorescence viditelně barevně různila (obr. 47a) nebo byla odlišná intenzita fluorescenčního záření (obr. 47b).

Podrobnější spektrální analýze bylo podrobena 7 inkluzí s ropnými uhlovodíky. Nejvyšší intenzity u jednotlivých naměřených fluorescenčních spekter bylo dosaženo mezi 488 a 510 nm (obr. 48). Inkluzím s modrou a modrobílou fluorescencí odpovídají spektra s maximální intenzitou kolem 490 nm, inkluzím se žlutozelenou fluorescencí odpovídají spektra s maximální intenzitou kolem 510 nm. Na všech fluorescenčních spektrech je zřetelný menší pozitivní výkyv okolo 440 nm.



Obr. 47 Inkluze s ropnými uhlovodíky ve fluorescenčním mikroskopu, vzorek SV-5K. Modrá fluorescence inkluze 4 a zelenožlutá fluorescence inkluze 5 (a), tentýž záběr v PPL (a1); modrobílá fluorescence inkluze 1 (b), tentýž záběr v PPL (b2).



Obr. 48 Spektrální křivky měřených inkluzí s ropnými uhlovodíky ze vzorku SV-5K.

7. DISKUZE

7.1. Stav zachování a reekvilibrace fluidních inkluzí

Před vlastní interpretací naměřených dat z fluidních inkluzí je třeba uvážit jejich reprezentativnost z pohledu zachování jejich původních charakteristik s ohledem na pozdější vývoj hostitelského minerálu. U inkluzí, jejichž fázové poměry a termometrická data jsou jen málo variabilní (SV-35, SV-5K), lze předpokládat, že nedošlo k narušení jejich hermetičnosti a lze je tedy použít pro interpretaci podmínek vzniku. Tyto inkluze byly zachyceny z homogenního fluida.

Některé inkluze s variabilními fázovými poměry (RH-50, RH-51, RH-52) nejeví známky zaškrcování inkluzí, čemuž nasvědčuje fakt, že nejen inkluze ve shlučích či trailech, ale i solitérní inkluze mají různé fázové složení. Nejsou kolem nich přítomny ani drobné satelitní inkluze. Lze tak vyloučit porušení jejich hermetičnosti procesem imploze či exploze (Bodnar 2003). Proto lze předpokládat, že tento typ inkluzí byl zachycený z heterogenního fluida.

V jednom vzorku křemene ze Staré Vožice (SV-35) bylo poměrně značné množství inkluzí vyskytujících se na trailech, které měly velmi nepravidelné tvary a četné vzájemně propojené výběžky. Tyto inkluze měly značně variabilní stupeň zaplnění a kolem nich se vyskytovalo halo satelitních jednofázových či dvoufázových fluidních inkluzí. Z toho lze usoudit, že během následných geologických procesů došlo k porušení jejich hermetičnosti, a tudíž údaje získané z těchto inkluzí nelze použít k interpretaci podmínek vzniku této mineralizace (Bodnar 2003). Jelikož halo satelitních inkluzí a výběžky vybíhající z porušených inkluzí tvoří 3D klastry, a ne planární strukturu, můžeme usuzovat, že k jejich porušení došlo mechanismem imploze, kdy se tlak okolí mnohonásobně zvýšil oproti tlaku v inkluzích (Sterner a Bodnar 1989). Poněvadž křemen zhasíná jednotně, nešlo pravděpodobně o orientovaný tlak (stres), ale o všesměrný tlak fluid.

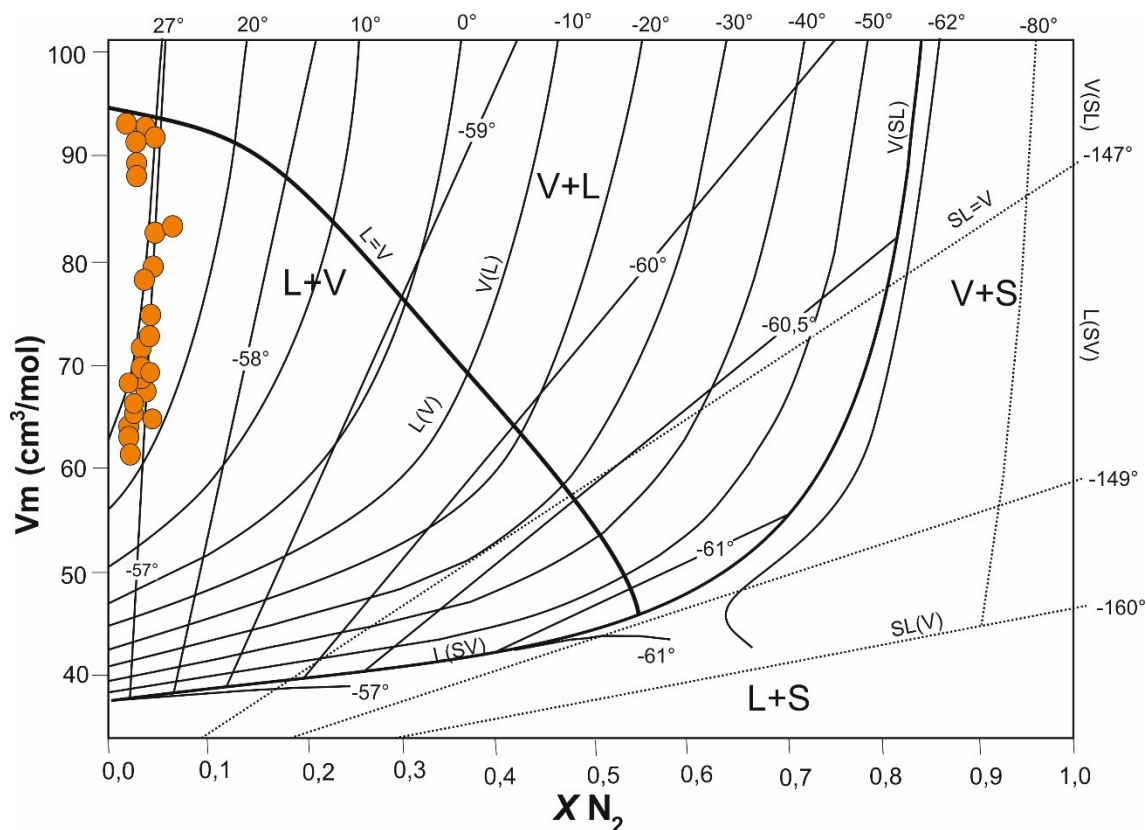
Ve vzorku SV-5K ze Staré Vožice a ve vzorcích z Ratibořských Hor (RH-50, RH-51, RH-52) bylo pozorováno zaškrcování fluidních inkluzí. Přestože byla snaha takto postižené inkluze eliminovat již před zahájením mikrotermometrických měření, nelze vyloučit, že některé měřené inkluze tímto procesem přesto prošly a jejich fázové složení bylo tedy pozměněno. Ojedinelá odlehlá data homogenizačních teplot nebyla proto použita k dalším interpretacím.

Vzhledem k tomu, že baryt je mechanicky velmi málo odolná fáze a že mnou naměřená data z fluidních inkluzí z barytu (SS-22, CV-21) byla velmi variabilní, mohla být hermetičnost těchto inkluzí narušena. Tomu nasvědčuje i to, že v obou vzorcích bylo přítomno velké množství tmavých inkluzí pravděpodobně bez fluidního obsahu (inkluze nejevily žádné fázové změny při mikrotermometrii), a že měřené fluidní inkluze velmi snadno dekrepitovaly při kryometrii i termometrii.

7.2 Chemické složení fluid

7.2.1. Stará Vožice

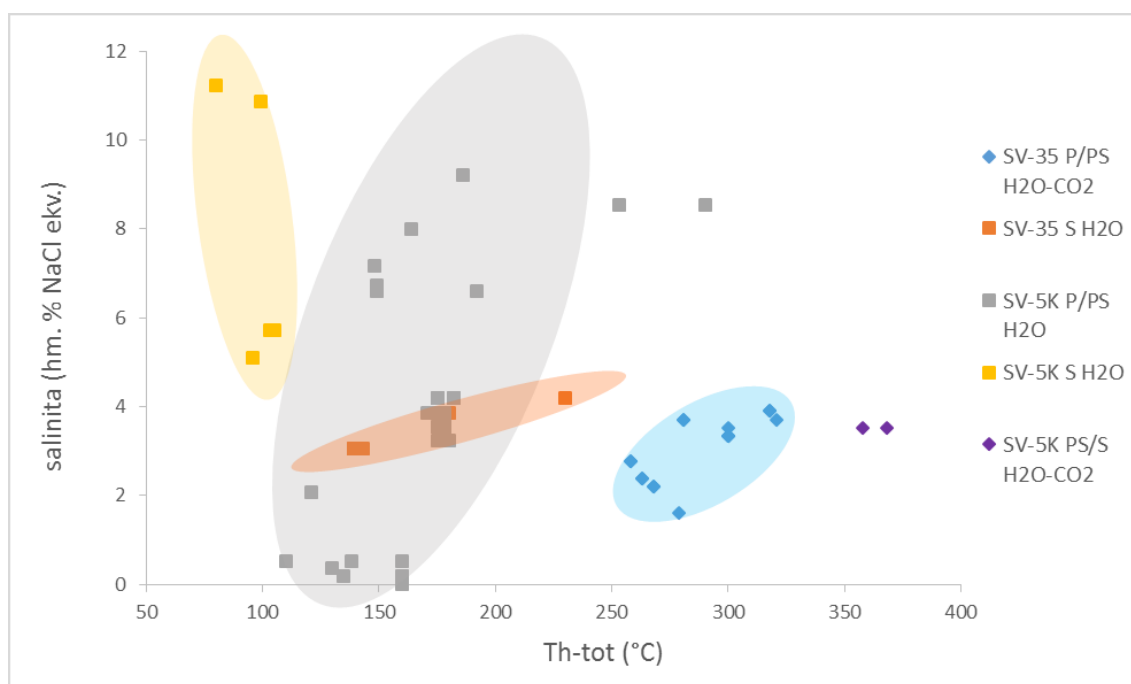
Ve křemenu ze Staré Vožice bylo ve fluidních inkluzích zachyceno několik typů fluid. V nejranější fázích krystalizace byla zachytávána nízkosalinní fluida $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{N}_2$ -soli (pouze vzorek SV-35). Obsah N_2 v nevodné fázi se pohybuje od 1,5 do 5 mol. % (obr. 49). Z grafu V-X (obr. 49) je patrný vertikální trend, kdy se mění molární objem nevodné fáze (60-95 cm^3/mol), ale její chemické složení zůstává téměř konstantní. To lze interpretovat jako kolísání tlaku v průběhu krystalizace křemene. Na základě toho, že stupeň zaplnění inkluzí zachycených na jednom trailu byl konstantní, lze usoudit, že inkluze byly zachyceny z homogenního fluida. Salinita toho typu fluid se pohybovala mezi 0 a 4,3 hm. % NaCl ekv. (Diamond 1992). Přítomnost dusíku byla při výpočtu salinity zanedbána a reálná salinita bude tedy o něco málo vyšší. Z grafu závislosti teploty celkové homogenizace na salinitě lze vypočítat diagonální trend (obr. 50, modrý ovál), kdy s poklesem teploty celkové homogenizace klesá i salinita, což indikuje míchání dvou či více typů fluid a poukazuje na účast chladnějších nízesalinních povrchových fluid (meteorická, popř. mořská voda).



Obr. 49 V-X diagram systému CO_2-N_2 (podle van der Kerkhof a Thiéry 2001 in Huraiová et al. 2002) s průmětem mikrotermometrických dat pro vzorek SV-35 ze Staré Vožice.

V dalších fázích hydrotermální aktivity byla zachycována vodná nízkosalinní až středněsalinní (0,2-9,2 hm. % NaCl ekv.) fluida. Dle naměřených teplot iniciálního tání mezi 21,2 a -21,5 °C se jedná o systém $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ (Davis et al. 1990). Z dat vynesných v digramu Th-

salinita (obr. 50 šedý a oranžový ovál) lze vypočítat výrazný diagonální trend, který lze interpretovat jako míchání dvou či více roztoků s rozdílnou salinitou a nepříliš kontrastním rozdílem teplot. Jelikož inkluze vykazují podobné fázové poměry, lze předpokládat jejich zachycení z homogenního fluida. Tato fluida byla zachytávána jako sekundární inkluze ve vzorku SV-35 a jako primární, pseudosekundární a sekundární inkluze ve vzorku SV-5K. U sekundárních inkluzí SV-5K je však v diagramu Th vs. salinita (obr. 50 žlutý ovál) naznačen opačný trend, který indikuje míchání teplejšího nízkosalinního roztoku s chladnějším středněsalinním roztokem, pro potvrzení tohoto trendu však není k dispozici dostatečné množství dat.

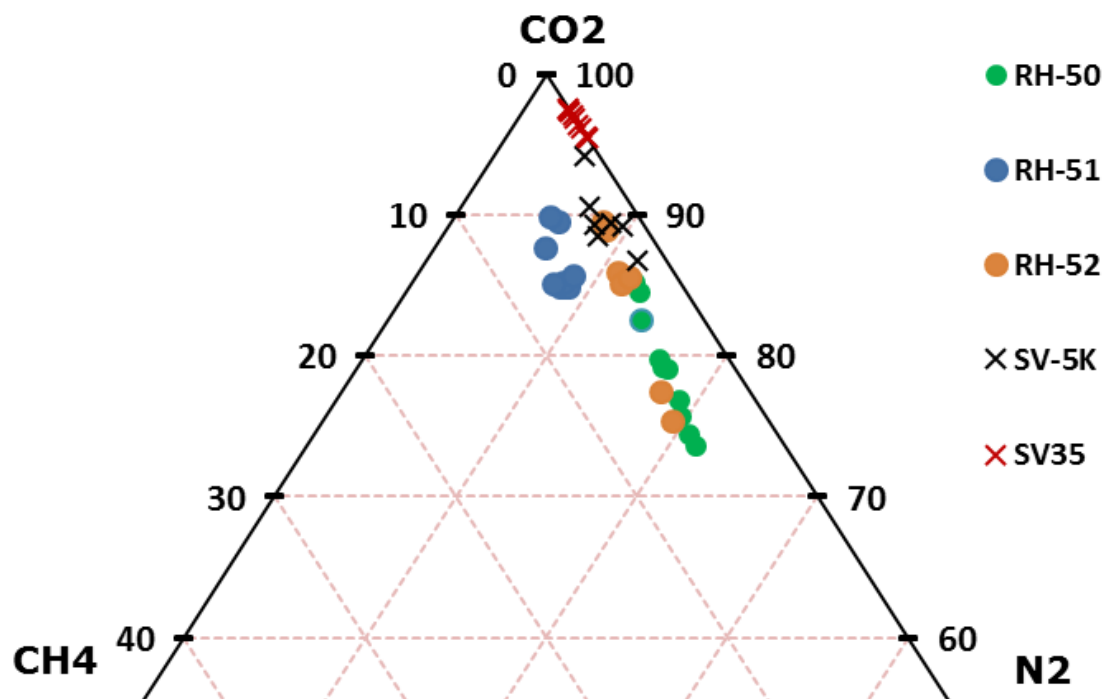


Obr. 50 Graf závislosti teploty celkové homogenizace na salinitě z inkluzí ze Staré Vožice.

Dalším typem fluid, který se zachycoval ve fluidních inkluzích, byly nízkosalinní roztoky systému (H₂O)-CO₂-N₂-CH₄ (pouze ve vzorku SV-5K), ve kterých převládá v nevodné fázi CO₂ (89,9-94,2 mol. %), obsah N₂ (5,1-11,7 mol. %) je mírně variabilní a nejméně je obsažen CH₄ (0,7-2,9 mol. %). Na základě určité variability v obsazích CO₂ a N₂ lze usoudit, že docházelo k míchání dvou fluid s různými poměry CO₂ a N₂, to potvrzuje i lineární trend v ternárním diagramu CO₂-N₂-CH₄ (obr. 51). V těchto inkluzích je za pokojové teploty viditelná pouze plynná fáze, avšak podle Diamonda (1994) může být na stěnách inkluze zachyceno až 10 obj. % vodného roztoku, která není pod mikroskopem vidět. Tyto inkluze byly zachytávány na trailech jako pseudosekundární nebo jako sekundární. Jsou pozdější než primární a pseudosekundární vodné inkluze, ale jsou starší než sekundární vodné inkluze. Asi ve třech inkluzích bylo zachyceno až 40 obj. % vodné fáze. Salinita těchto inkluzí byla vypočtena na 3,5 hm. % NaCl (Diamond 1992) při zanedbání N₂ a CH₄, reálná maximální salinita bude tedy o něco málo vyšší.

Ve vzorku SV-5K se zachycovaly inkluze s ropnými uhlovodíky. Vykazovaly modrou, modrobílou a žlutozelenou UV-fluorescenci. To by mohlo značit značnou variabilitu ve vyvrátlosti ropných uhlovodíků zachycených v inkluzích. Podle většiny autorů (Bodnar 1990; Pironon, Pradier 1992; Stasiuk, Snowdon 1997) modrá a modrobílá fluorescence odpovídá lehkým

vyzrálým ropám, zelenožlutá fluorescence odpovídá středně vyzrálým ropám a červenooranžová a červená fluorescence odpovídá těžkým málo vyzrálým ropám. Podle George et al. (2001) však barva fluorescence závisí především na chemickém složení ropy, které nemusí nutně souviset s její zralostí.



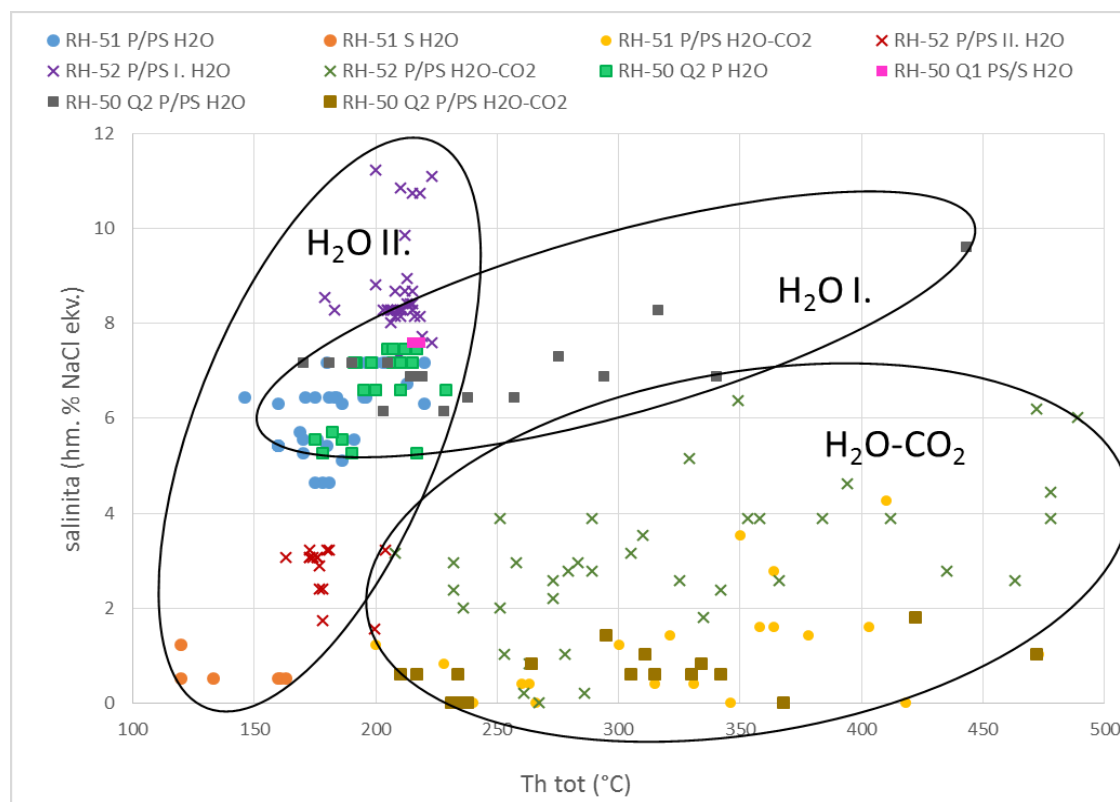
Obr. 51 Chemické složení nevodné fáze fluidních inkluzí z Ratibořských Hor a ze Staré Vožice.

7.2.2 Ratibořské Hory

V Ratibořských Horách lze odlišit 3 typy fluid. Prvním typem jsou fluida systému $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{CH}_4$ -soli (na obr. 52 označena jako $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$), v nichž dochází při kryometrii k tvorbě klatrátu. Obsah CH_4 v nevodné fázi mírně kolísá mezi 2,1 až 6,5 mol. %. Obsahy CO_2 (73,7-89,9 mol. %) a N_2 (5,3-21,4 mol. %) sice kolísají, ale CO_2 vždy převládá a N_2 je vždy více než CH_4 . V diagramu $\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{CH}_4$ (obr. 51) si lze u většiny dat povšimnout trendu, který znázorňuje kontinuální změnu v obsahu CO_2 . Z grafu závislosti teploty parciální homogenizace nevodné fáze na teplotě tání pevného CO_2 lze vypočítat přímo úměrný trend, kdy se s poklesem teploty tání pevného CO_2 snižuje i teplota parciální homogenizace nevodné fáze (obr. 53). Jelikož teploty tání pevného CO_2 nižší než $-56,6^\circ\text{C}$ značí příměsi dalších plynů v nevodné fázi (Zachariáš 2000), lze tento trend interpretovat tak, že se nárůstem obsahu N_2 a CH_4 v nevodné fázi klesá teplota parciální homogenizace nevodné fáze. To potvrzují i data z Ramanovy spektrometrie (obr. 54). Salinita tohoto typu roztoků se pohybuje v intervalu teplot od 0,0 do 6,2 hm. % NaCl ekv. (Diamond 1992), přičemž přítomnost dusíku a metanu byla při výpočtu zanedbána a skutečné hodnoty budou tedy o něco vyšší. Z diagramu závislosti teploty celkové homogenizace na salinitě (obr. 52) lze vypočítat široký interval teplot homogenizace a subhorizontální trend, což by

naznačovalo, že by tyto inkluze mohly být zachyceny z heterogenního fluida (podrobnější diskuze viz kapitola 7.3.1).

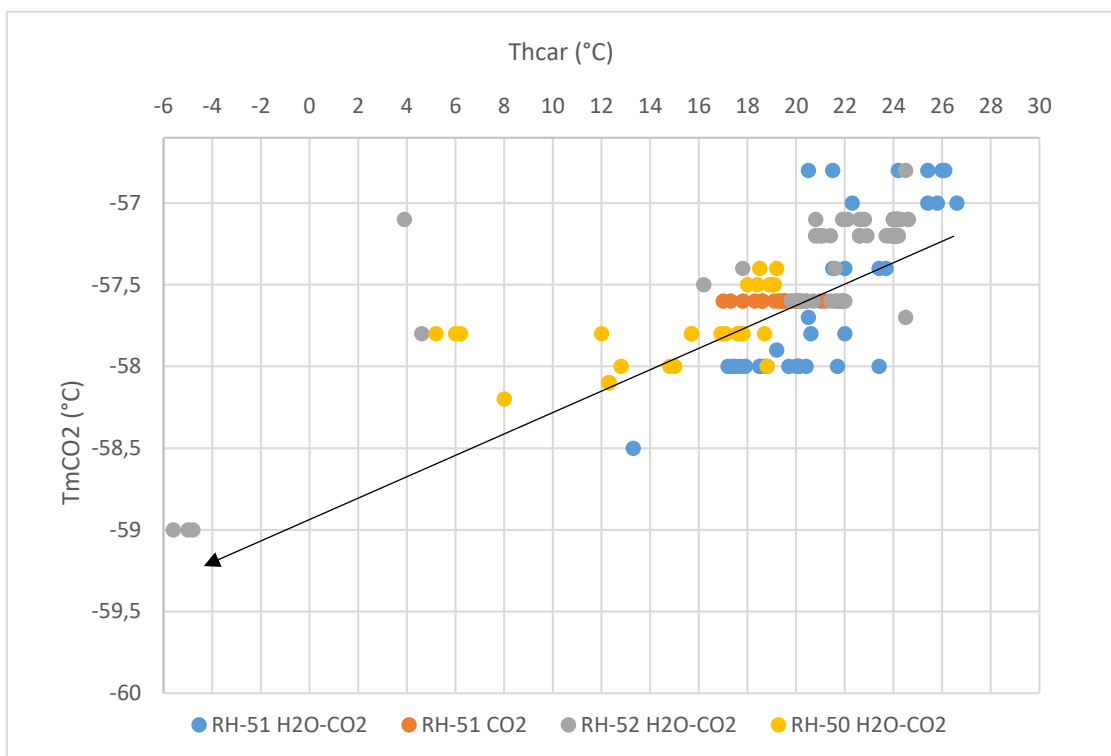
Dalším typem fluid účastnících se hydrotermálních procesů v Ratibořských Horách byla fluida systému $\text{H}_2\text{O} \pm \text{CO}_2 \pm \text{N}_2 \pm \text{CH}_4$ -soli (označená na obr. 52 jako H_2O I. a H_2O II.). Přítomnost plynů nebyla pomocí mikrotermometrie detekována, kromě dvou inkluzí, v nichž se při kryometrii pouze vytvořil klatrát (vzorek RH-51), ale nedošlo ke vzniku kapalné nevodné fáze. V některých inkluzích byla přesto přítomnost CO_2 - N_2 - CH_4 v plynné fázi detekována pomocí Ramanovy spektrometrie. To nasvědčuje přítomnosti $\leq 3,5$ mol. % CO_2 v inkluzích, kde $T_{\text{m-ICE}} \geq -1,5$ °C. U fluid H_2O I. bylo v plynné bublině inkluzí naměřeno 73,7-79,8 mol. % CO_2 , 16,4-21,4 mol. % N_2 a 3,9-5,0 mol. % CH_4 . U fluid H_2O II. byl zjištěn o něco vyšší obsah CO_2 (89,0 mol. %), o něco nižší obsah N_2 (8,8 mol. %) a lehce nižší obsah CH_4 (2,2 mol. %). Podobné chemické složení nevodné fáze těchto fluid a fluid H_2O - CO_2 - N_2 - CH_4 -soli (viz předchozí odstavec) dokládá, že oba tyto typy fluid pocházejí ze stejného rezervoáru. Na základě teplot iniciálního tání (-33 až -22 °C) lze říci, že se krystalizace účastnily roztoky systému $\text{H}_2\text{O} \pm \text{CO}_2 \pm \text{N}_2 \pm \text{CH}_4$ -NaCl a $\text{H}_2\text{O} \pm \text{CO}_2 \pm \text{N}_2 \pm \text{CH}_4$ -NaCl \pm MgCl $_2$ \pm KCl \pm FeCl $_2$ (Borisenko 1977).



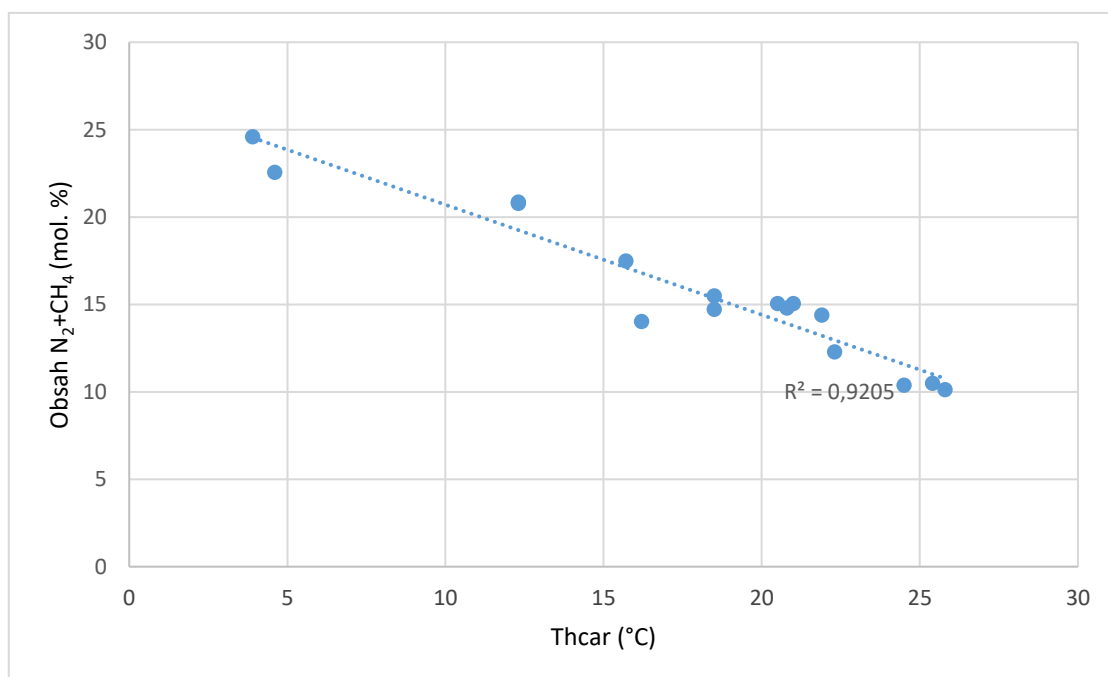
Obr. 52 Graf závislosti teploty celkové homogenizace na salinitě inkluzí ze Staré Vožice.

Salinita u fluid H_2O I. se pohybuje v užším intervalu (5,1-9,6 hm. % NaCl) než u fluid H_2O II. V diagramu T_{h} vs. salinita (obr. 52) lze vypožorovat diagonální trend, který indikuje míchání fluid s kontrastními teplotami a lehce odlišnými salinitami. Salinita fluid H_2O II. je oproti tomu velmi variabilní (0,5-11,2 hm. % NaCl ekv.) a z grafu závislosti teploty homogenizace na salinitě je patrný výrazný diagonální trend, kdy docházelo k míchání středněsalinního a teplejšího fluida z nízkosalinním chladnějším fluidem. Tato fluida byla zachycována ve třech různých

vzorcích a lze tedy poukázat na kontinuální dlouhodobý vývoj. Dle teplot celkové homogenizace a petrografické situace jsou fluida H₂O I. starší vůči roztokům H₂O II.



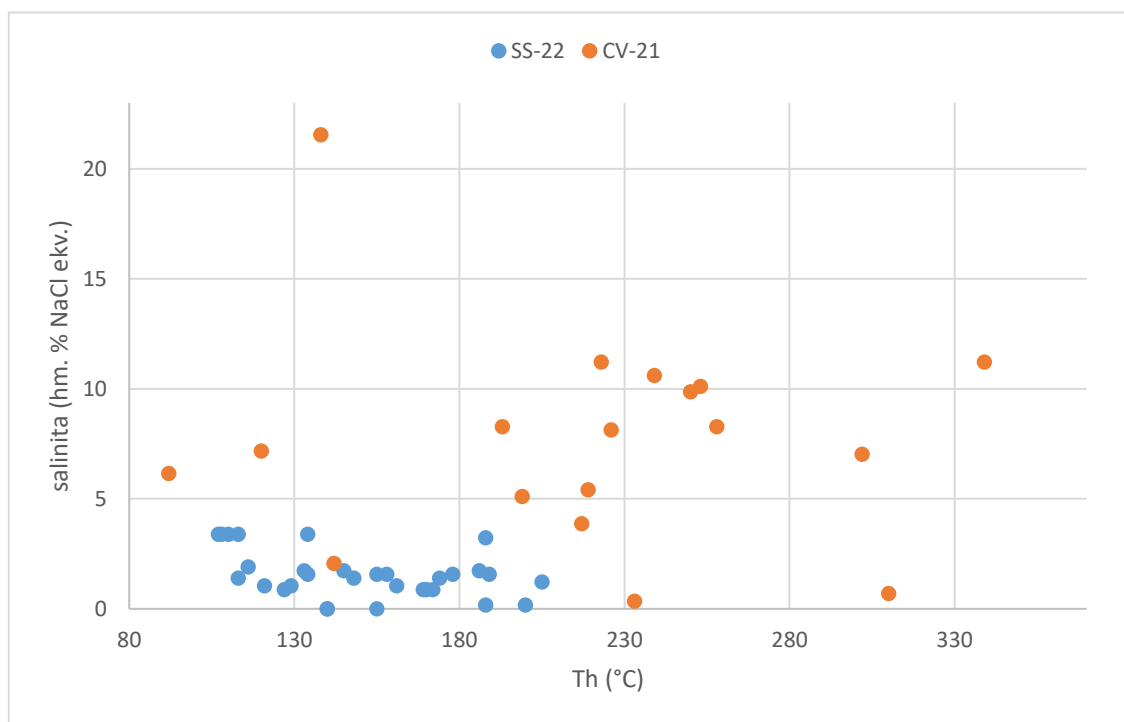
Obr. 53 Graf závislosti teploty parciální homogenizace (vždy na plyn) nevodné fáze na teplotě tání pevného CO₂ v inkluzích z Ratibořských Hor. Šipka znázorňuje přímo úměrný trend.



Obr. 54 Graf závislosti teploty parciální homogenizace nevodné fáze na obsahu N₂ a CH₄ v nevodné fázi v inkluzích z Ratibořských Hor.

7.2.3 Stříbrná Skalice a Černé Voděrady

Na těchto lokalitách byly zkoumány inkluze v barytu, který představuje pozdní fázi mineralizace. Vyskytovala se zde pouze vodná fluida. V Černých Voděradech byla na základě teplot iniciálního tání ($-50,0$ až $-22,8$ °C) stanovena přítomnost chloridů Na a $\text{Ca} \pm \text{K}$, Fe, Mg (Davis et al. 1990, Spencer et al. 1990). V inkluzích ze Stříbrné Skalice se nepodařilo změřit žádnou teplotu iniciálního tání, avšak na základě teploty vymrznutí inkluze (min. -45 °C) lze vyloučit přítomnost chloridů Ca. Inkluze měly velmi variabilní teploty homogenizace (obzvláště vzorek z Černých Voděrad). To lze vysvětlit mechanickým porušením inkluzí, procesem zaškrcování, změnou teploty při krystalizaci barytu či zachycením heterogenní směsi plynu a vodného roztoku. V Černých Voděradech se zachytávala nízkosalinní až vysokosalinní fluida ($0,0$ - $22,3$ hm. % NaCl ekv.) a ve Stříbrné Skalici se zachytávala nízkosalinní fluida (0 - $3,4$ hm. % NaCl ekv.). Velkou variabilitu v salinitě (obr. 55) u inkluzí z Černých Voděrad lze vysvětlit mícháním více roztoků s kontrastní salinitou.



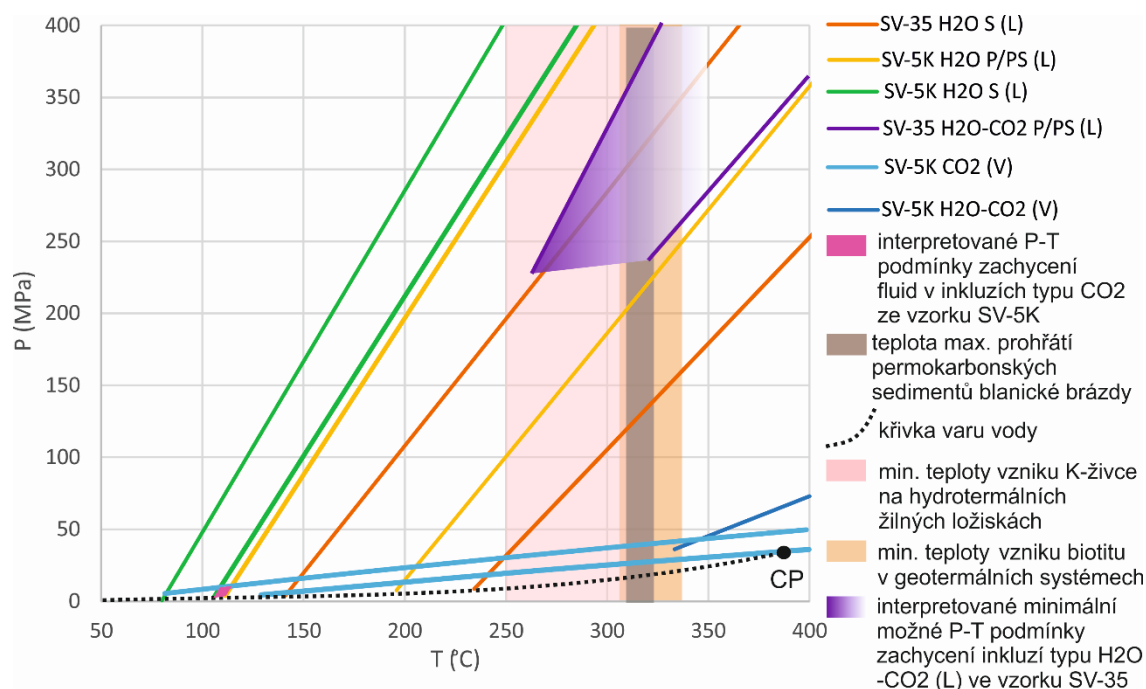
Obr. 55 Graf závislosti teploty celkové homogenizace na salinitě z inkluzí ze Stříbrné Skalice (SS-22) a Černých Voděrad (CV-21).

7.3 P-T podmínky zachycení

7.3.1 Stará Vožice

Inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ a H_2O ve vzorku SV-35 a inkluze typu H_2O a CO_2 ve vzorku SV-5K vykazují stálé fázové poměry a homogenizují v poměrně úzkém intervalu teplot, tudíž lze předpokládat, že byly zachyceny z homogenního fluida (Zachariáš 2000) a skutečné P-T podmínky zachycení pro danou inkluzi leží na příslušné izochoře. Inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ byly ve

vzorku SV-5K přítomny jen ve velmi malém množství, proto nelze jednoznačně interpretovat jejich genezi a vzájemný vztah vůči ostatním typům inkluzí. Izochory pro krajní teploty celkových homogenizací všech typů inkluzí ze Staré Vožice jsou zobrazeny v obr. 56. Pro primární inkluze (typ $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$) z křemene SV-35, v němž byly zachytávány i minerální inkluze biotitu a K-živce, lze použít jako nezávislý termometr minimální možné teploty vzniku těchto minerálů za hydrotermálních podmínek. Pro biotit byly použity teploty 305-340 °C uváděné Barkerem et al. (1986) a pro K-živec byly použity teploty 250-320 °C uváděné Deereem et al. (2001). Tyto teploty a data z mnoha naměřených inkluzí korespondují s teplotami maximálního prohřátí permokarbonských sedimentů (310-325 °C) vypočítaných Zachariášem et al. (2009) na základě hodnot odraznosti vitrinitu z antracitu blanické brázdy, uváděných Peškem et al. (2004). Na základě těchto informací lze pro fluida typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ určit minimální možné P-T podmínky zachycení na cca 260 °C a 240 MPa (obr. 56). Tato fluida se pravděpodobně zachytila v raném stádiu hydrotermální aktivity, které předcházelo vzniku rudních žil.



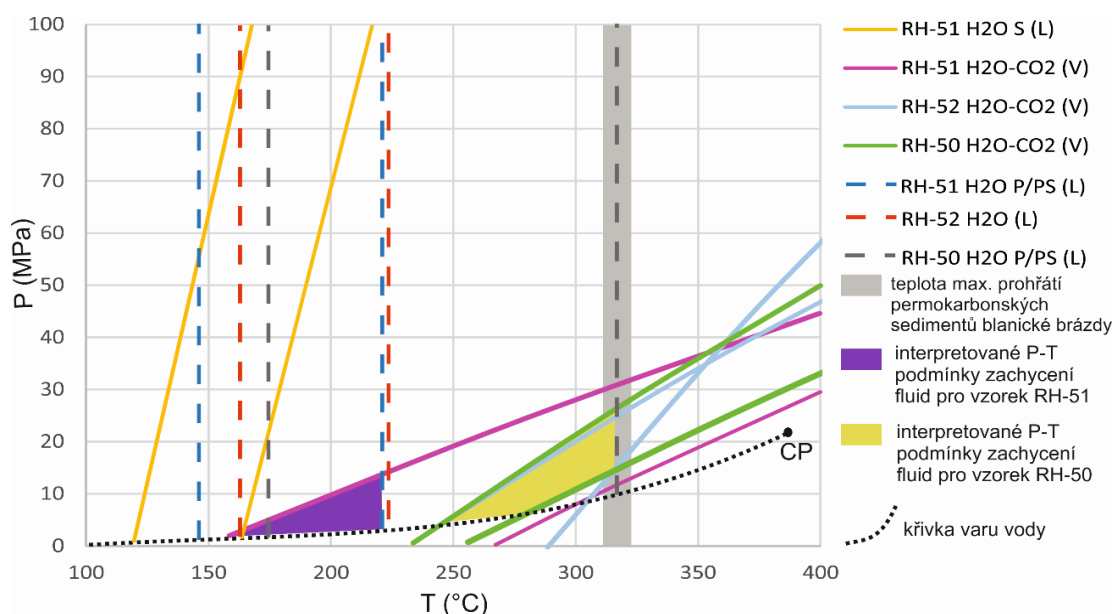
Obr. 56 Interpretované P-T podmínky pro fluida zachycená na lokalitě Stará Vožice.

Ve vzorku SV-5K se zachytávala nejdříve fluida typu H_2O , poté se epizodicky zachytávala fluida typu CO_2 a v posledním stádiu se na trhlinách po ukončení růstu krystalu zachytávala opět fluida typu H_2O . Takto chronologicky zachycená fluida lze použít pro interpretaci P-T podmínek vzniku inkluzí typu CO_2 a H_2O pomocí protínání jejich izochor (obr. 56), pokud předpokládáme kontinuální pokles teploty během vývoje tohoto vzorku. Takto odvozené P-T podmínky zachycení jsou cca 110 °C a cca 10 MPa (obr. 56).

7.3.2 Ratibořské Hory

Distribuce dat v diagramu Th-salinita (obr. 52) inkluzí typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ve všech měřených vzorcích z lokality Ratibořské Hory nasvědčuje tomu, že inkluze byly zachyceny z heterogenního fluida. V souladu s tím je i značná variabilita v jejich stupni zaplnění ($F=0,1-0,5$), přestože všechny inkluze homogenizovaly na plyn. Za druhý koncový člen heterogenní fluidní směsi by se potom daly považovat inkluze typu H_2O , které homogenizovaly na kapalinu, a ve kterých byla na Ramanově spektrometru detekována přítomnost CO_2 , N_2 a CH_4 ve stejných poměrech jako v inkluzích typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. Tyto inkluze se také někdy vyskytují společně s inkluzemi typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ na jednom trailu. Avšak pro jasné potvrzení této teorie chybí přechodné členy s variabilními fázovými poměry a různými homogenizačními módy, což podle Shepherd et al. (1985) jednoznačně indikuje heterogenní zachycení fluid.

Druhou možností interpretace mechanismu zachycení fluid ve zkoumaných vzorcích je, že inkluze typu H_2O i $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ se zachycovaly z homogenních fluid, která působila na stejném prostoru, ale v časově oddělených obdobích. Z důvodu stejných poměrů $\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{CH}_4$ (byť přítomných v nízkých koncentracích) v plynné fázi inkluzí typu H_2O jako v inkluzích typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ a širokému rozptylu teplot celkových homogenizací inkluzí typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ (obr. 52) se zdá toto vysvětlení méně pravděpodobné. Proto se autorka této práce přiklání k možnosti, že inkluze ve vzorcích z Ratibořských Hor byly zachyceny z heterogenního fluida, a že v inkluzích typu H_2O byl zachytáván téměř výhradně jen čistý (plynnou fází nekontaminovaný) koncový člen, což při petrografickém vyhodnocení působí dojmem zachycení z homogenního fluida. Předpokládáme-li tedy, že inkluze byly zachyceny z heterogenního fluida, lze P-T podmínky zachycení lokalizovat na průniku izochory plynné inkluze s minimální homogenizační teplotou dvojfázových inkluzí, které zachytily vodný roztok (Huraiová et al. 2002). Předpokládané P-T podmínky zachycení jsou zobrazeny v obr. 57. Jako srovnávací údaj byla použita teplota



Obr. 57 Interpretované P-T podmínky pro fluida zachycené na lokalitě Ratibořské Hory. Plnými čarami jsou znázorněny izochory, čárkovaně je rozsah teplot homogenizací vodných inkluzí.

maximálního prohřátí permských sedimentů (310-325 °C) získaná na základě odraznosti vitrinitu z antracitu českobrodského souvrství (Zachariáš et al. 2009). P-T podmínky zachycení pro inkluze z Ratibořských Hor se pohybují mezi 1-25 MPa a 160-315 °C (obr. 57).

7.4. Původ fluid

Fluida systému $H_2O-CO_2-N_2$ -soli ze Staré Vožice (SV-35) byla zachycená za relativně vyšších tlaků a teplot (min. 240 MPa a 260 °C). Tyto tlakové hodnoty odpovídají hloubce vzniku cca 7,2 km za litostatických podmínek, resp. cca 20 km za hydrostatických podmínek. Tudíž nelze předpokládat vznik této mineralizace v době vzniku hlavního stádia Ag-Pb-Zn mineralizace v blanické brázdě, ale mohlo se jednat o starší procesy související s iniciální tektonickou fází vývoje blanické brázdy. Vznik těchto fluid tedy může souviset s pozdními fázemi variské metamorfózy moldanubika. S tím je v souladu i chemické složení nevodné fáze těchto fluid, ve které značně převažuje CO_2 , zatímco N_2 tvoří jen malou příměs. Dusík se totiž uvolňuje do metamorfních fluid hlavně při přeměně slíd (s obsahem NH_4 kationtu) na živce v podmínkách progradní metamorfózy (Bottrell et al. 1988, Wang et al. 2010, 2018) a v retrogradně-metamorfních fluidech tedy nelze jeho zvýšené koncentrace očekávat.

Fluida systému $H_2O-CO_2-N_2-CH_4$ -soli z inkluzí ze Staré Vožice (SV-5K) a z Ratibořských Hor (RH-50, RH-51, RH-52) byla zachycována v pozdějších fázích hydrotermální aktivity za podstatně nižších tlakových podmínek (1-25 MPa). Metan se mohl do fluid uvolňovat z organické hmoty z permských sedimentů (Kříbek et al. 2002, Žák et al. 2002, Dolníček et al. 2014). Zdrojem dusíku by v tomto případě mohla být rovněž organická hmota (Bottrell et al. 1988) z permských sedimentů.

Ve vzorku SV-5K byla v primárních inkluzích zachycených podél růstových zón krystalu křemene prokázána přítomnost vyšších uhlovodíků. Uhlovodíky se tedy zachycovaly v době růstu krystalu a do fluid se uvolňovaly nepochybně prohřátím nemetamorfované organické hmoty (vč. uhelných slojí). Zdrojem uhlovodíků tedy mohly být v dané geologické situaci permokarbonské sedimenty blanické brázdy. O stejném původu ropy přítomné v ropných inkluzích v žilkovitých mineralizacích v prostředí permských uloženin boskovické brázdy uvažuje i Průchová (2016).

7.5 Srovnání výsledků s předchozími výzkumy v blanické brázdě a přilehlém okolí

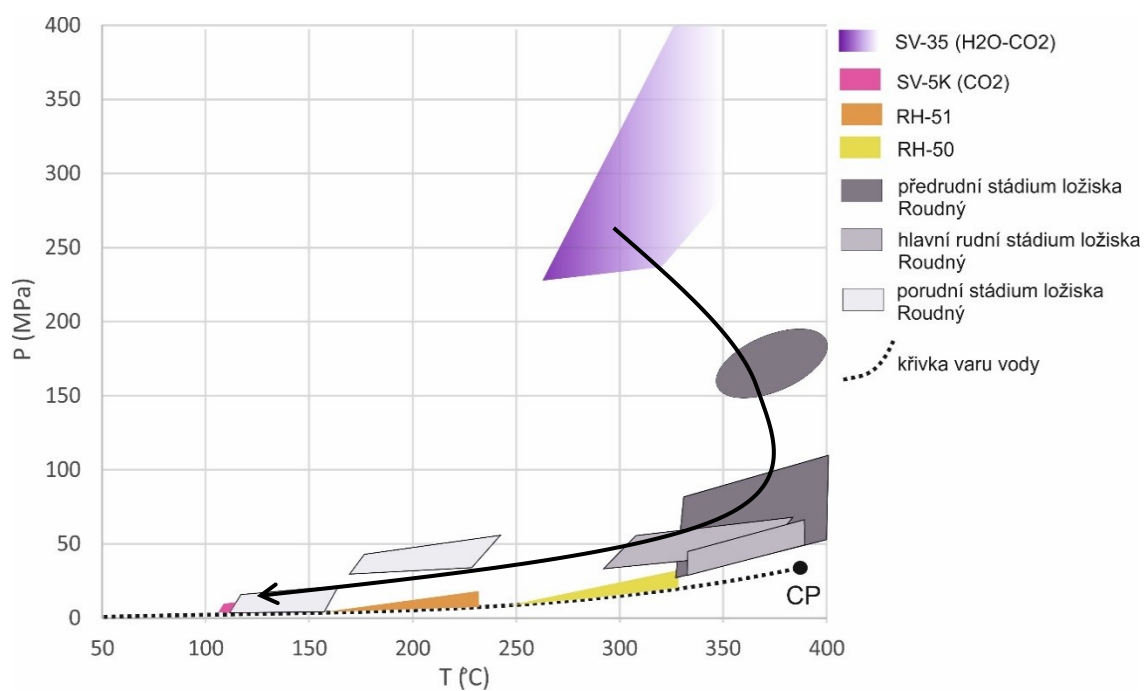
V Ratibořských Horách se již dříve zabývala studiem fluidních inkluzí ve své diplomové práci Islakaeva (2011). Zjištěna byla fluida systému $H_2O-NaCl \pm MgCl_2 \pm FeCl_2$ s variabilní salinitou (1-11 hm. % NaCl ekv), která homogenizovala na kapalinu nejčastěji v intervalu teplot od 150 do 200 °C. Tato zjištění zcela korespondují s nově získanými daty pro fluida typu H_2O II. ($T_h = 150-210$ °C, salinita = 1,8-11,2 hm. % NaCl ekv.) z Ratibořských Hor, uvedenými v této studii.

Dále se studiem podmínek vzniku Ag-Pb-Zn mineralizace blanické brázdy zabývali Hübster et al. (2011) na lokalitě Hřívá. Zjistili účast středněsalinních (6,6-8,9 hm. % NaCl ekv.) vodných fluid s teplotami homogenizace (na kapalinu) od 122 do 165 °C. Tato fluida mají podobnou salinitu jako fluida typu H_2O I. z Ratibořských Hor (5,1-9,6 hm. % NaCl ekv.; tato práce), ale tyto inkluze mají na rozdíl od fluid z Hřívá vyšší teploty homogenizace (160-340 °C).

Z toho vyplývá, že se mohlo jednat o stejný typ fluid, ale roztoky zachycené ve fluidních inkluzích na lokalitě Hříva byly poněkud chladnější.

Z dalších ložisek jiných typů mineralizace byly v oblasti blanické brázdy a jejím okolí fluidní inkluze studovány na ložiscích Roudný (ložisko zlata) a Okrouhlá Radouň (uranové ložisko). Podrobnou studii podmínek vzniku mineralizace na Au-ložisku Roudný provedli Zachariáš et al. (2009). Rozlišují zde 3 hlavní stádia mineralizace. Předrudní fáze mineralizace se účastnila nízkosalinní (0,0-3,9 hm. % NaCl ekv.) $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2\pm\text{CH}_4-\text{N}_2$ (<10 mol. % CH_4 , N_2) fluida, která se zachycovala za teplot 330-400 °C a tlaku 150-200 MPa (tomu odpovídá hloubka 5-8 km v režimu litostatického tlaku). Chemickým složením korespondují s nízkosalinními fluidy $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{N}_2$ ze Staré Vožice nově popsány v této práci, které ale byly zachyceny za poněkud vyšších tlaků (>240 MPa) a za o něco nižších, popř. stejných teplot (od 260 °C). Hlavní rudní fáze, charakterizované přínosem zlata, se účastnily především vodná středněsalinní (3,7-6,2 hm. % NaCl ekv.) a vysokoteplotní fluida ($T_h = 270$ až >330 °C). Tato fluida nejeví podobnost s žádným typem fluid popsáným v této práci. Pozdních fází mineralizace na Roudném se účastnila N_2 -bohatá fluida ($\text{N}_2 \gg \text{CO}_2 \pm \text{H}_2\text{O}$), která rovněž nelze přirovnat k žádnému typu fluid zjištěnému v této studii. Dále se pozdních fází hydrotermální aktivity na Roudném účastnila vodná středněsalinní (5,7-9,3 hm. % NaCl ekv.) a středněteplotní ($T_h = 100-200$ °C) fluida, která jsou srovnatelná s nízkosalinními až středněsalinními (0,2-9,2 hm. % NaCl ekv.) a středněteplotními ($T_h = 110-195$ °C) vodnými fluidy ze Staré Vožice zjištěnými v této studii. Zde popsaná fluida ze Staré Vožice mají na rozdíl od fluid zjištěných na ložisku Roudný širší rozsah salinity a minimální hodnoty salinity jsou o něco nižší, což by mohlo být zapříčiněno větším zastoupením nízkosalinní komponenty fluidní směsi (pravděpodobně meteorické vody) ve fluidech ze Staré Vožice. Interpretované P-T podmínky pro působení fluid v různých stádiích vývoje na ložisku Roudný ve srovnání s P-T podmínkami pro některé typy fluid ze Staré Vožice a z Ratibořských Hor interpretované v této práci jsou zobrazeny v obr. 58. Za hlavní zdroj fluid účastníků se vzniku mineralizace na Roudném považují Zachariáš et al. (2009) metamorfí roztoky, které se míchaly s meteorickou vodou. To je v souladu s interpretací pro primární fluida ze vzorku SV-35 ze Staré Vožice nově popsané v této práci. Pro ostatní typy fluid se však přiklání spíše k možnosti jejich diagenetického původu (viz přítomnost ropy, zvýšených koncentrací metanu a dusíku).

Na uranovém ložisku Okrouhlá Radouň se studiem fluidních inkluzí zabývali Dolníček et al. (2014). Identifikována byla nízkoteplotní (50-140 °C) vodná fluida s velmi variabilní salinitou (0-25 hm. % NaCl ekv.). Velkou variabilitu v salinitě autoři vysvětlují mícháním tří koncových členů hydrotermálních roztoků: meteorické vody, Na-Ca-Cl pánevních a/nebo štítových solanek a roztoků pocházejících patrně z vysychajících permských jezer s vysokým obsahem $\text{SO}_4-\text{NO}_3-\text{Cl}-(\text{H})\text{CO}_3$ aniontů. Stejná variabilita v salinitě (0-22 hm. % NaCl ekv.) spolu s přítomností chloridů Na a Ca byly zjištěny v inkluzích v barytu z Černých Voděrad nově popsáných v této práci, proto lze v Černých Voděradech při vzniku barytu předpokládat účast roztoků stejného původu jako na lokalitě Okrouhlá Radouň.



Obr. 58 Interpretované P - T podmínky pro fluida zachycená na lokalitách Ratibořské Hory a Stará Vožice v porovnání s P - T podmínkami na ložisku Roudný (Zachariáš et al. 2009). Černá šipka znázorňuje předpokládaný vývoj P - T podmínek hydrotermálních procesů ve střední části blanické brázdy (Stará Vožice, Ratibořské Hory, Roudný).

8. ZÁVĚR

V této práci jsem se zabývala studiem fluidních inkluzí v křemenu z Ratibořských Hor a ze Staré Vožice a v barytu ze Stříbrné Skalice a Černých Voděrad. Vzorky, dodané vedoucím diplomové práce, byly studovány pomocí mikrotermometrie fluidních inkluzí, Ramanovy spektrometrie, UV-fluorescenční spektrometrie a elektronové mikrosondy.

Nejstarší fluida byla zjištěna ve vzorku křemene (SV-35) ze Staré Vožice, který obsahoval i minerální inkluze biotitu a K-živce. V primárních fluidních inkluzích v tomto vzorku byla zachycena nízkosalinní fluida systému $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{N}_2$. Tato fluida se zachycovala za tlaku minimálně 240 MPa a teplot min. 260 °C. Vznik této mineralizace souvisí pravděpodobně s prvotními stádii zakládání zlomových struktur blanické brázdy a pravděpodobným zdrojem těchto fluid jsou metamorfní roztoky závěrečných fází variské metamorfózy okolního moldanubika.

Druhý vzorek křemene ze Staré Vožice zachytil fluida působící již v rudní fázi, kdy vznikaly i sulfidy, což je dokumentováno přítomností inkluzí galenitu v tomto vzorku. V primárních inkluzích se zachycovala středněteplotní ($T_h = 110-195$ °C) a nízkosalinní až středněsalinní fluida systému $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$, pocházející minimálně ze dvou zdrojů, a také fluida tvořená ropnými uhlovodíky. Později byla zachycena i nízkosalinní fluida systému $(\text{H}_2\text{O})-\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{CH}_4$ (s obsahem max. 13 mol. % N_2+CH_4 v nevodné fázi) zachycené za nízkých tlaků (max. 10 MPa) a nižších teplot (105-120 °C).

Ve vzorcích křemene z Ratibořských Hor byla zjištěna heterogenně zachycená nízkosalinní až středněsalinní fluida systému $\text{H}_2\text{O}\pm\text{CO}_2\pm\text{N}_2\pm\text{CH}_4-\text{NaCl}\pm\text{KCl}\pm\text{MgCl}_2\pm\text{FeCl}_2$ (s obsahem až 26 mol. % N_2+CH_4 v nevodné fázi), které byly zachyceny za velmi nízkých tlaků (1-25 MPa) a v rozsahu teplot 160-315 °C. Zde identifikovaná fluida lze na základě nízkých tlaků a teplot zachycení považovat za pozdější oproti vzorkům ze Staré Vožice.

V Černých Voděradech byla ve vzorku barytu prokázána v primárních inkluzích nízkosalinní až vysokosalinní vodná fluida s chloridy Na a $\text{Ca} \pm \text{K}$, Fe, Mg. Tato mineralizace pravděpodobně vznikala po vzniku permských sedimentů vyplňující strukturu blanické brázdy a fluida v ní zachycená pocházejí pravděpodobně ze štítových solanek či vysychajících permských jezer.

Ve vzorku barytu ze Stříbrné Skalice byla zjištěna nízkosalinní fluida systému $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}\pm\text{KCl}\pm\text{MgCl}_2\pm\text{FeCl}_2$.

Byť byly lokality Ratibořské Hory a Vožice již dříve podrobeny studiu fluidních inkluzí (Islakaeva 2011, Ondřejíčková 2013), byla v této práci poprvé zjištěna přítomnost nezanedbatelných koncentrací CO_2 , N_2 a CH_4 ve fluidních inkluzích. Nově též byla prokázána přítomnost ropných uhlovodíků v inkluzích ze Staré Vožice. Na základě nově zjištěných poznatků lze říci, že na vzniku mineralizace v blanické brázdě se podílelo více typů fluid a jednalo se o

dlouhodobý vícefázový vývoj. Významnou roli pro vznik rudní mineralizace pravděpodobně měla fluida odvozená z permské sedimentární výplně struktury blanické brázdy.

LITERATURA

- Barker Ch.E., Crysdale B.L., Pawlewicz M.J. (1986): The relationship between vitrinite reflectance, metamorphic grade and temperature in the Cerro Prieto, Salton Sea, and East Mesa geothermal systems, Salton Trough, United states and Mexico. – In: Mumpton F.A. (ed.): Studies in diagenesis. U.S. Geol. Surv. Bull. 1578, p. 84-95.
- Bernard J. H., Čech F., Davidová Š., Dudek A., Fediuk F., Hovorka D., Kettner R., Koděra M., Kopecký L., Němec D., Paděra K., Petránek J., Sekanina J., Staněk J., Šimová M. (1981): Mineralogie Československa. Academia Praha.
- Bernard J. H., Pouba Z., Čadek J., Čadková Z., Havelka J., Hettler J., Chrt J., Klomínský J., Koutek J., Legierski J., Lomozová V., Morávek P., Mrázek P., Pertold Z., Petránek J., Pokorný J., Reichmann F., Rus V., Sattran V., Skácel J., Šmejkal V., Šorf F., Tenčík I., Vaněček M. (1986): Rudní ložiska a metalogeneze československé části Českého masívu. Ústřední ústav geologický, Praha.
- Bodnar R. J. (1990): Petroleum migration in the Miocene Monterey formation, California, USA: constraints from fluid inclusion studies. – Mineral. Mag., 54, 295-304.
- Bodnar R. J. (1993): Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. – Geochim. Cosmochim. Acta, 57, 683-684.
- Bodnar R. J. (2003) Reequilibration of fluid inclusions. – In: Samson I., Anderson A., & Marshall D., (eds.): Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation. Mineral. Assoc. Canada, Short Course 32, p. 213-230.
- Borisenko A. C. (1977): Determination of salt composition of the solutions fluid inclusions in minerals using cryometry. – Geol. Geoph., 8, 16-27.
- Bottrell S. H., Carr L. P., Dubessy J. (1988): A nitrogen-rich metamorphic fluid and coexisting minerals in slates from North Wales. – Mineral. Mag., 52, 451-457.
- Čech V., Kořan, J., Koutek J. (1952): Rudní ložiska v okolí Ratibořských Hor a Staré Vožice u Tábora. – Geotechnica, 13, 72s., Praha.
- Davis D.W., Lowenstein T.K., Spencer R.J. (1990): Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems NaCl-H₂O, NaCl-KCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O and NaCl-CaCl₂-H₂O. – Geochim. Cosmochim. Acta, 54, 591-601.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., Eds. (2001): Rock-Forming Minerals: Feldspars, vol. 4A. Geological Society of London.
- Diamond L. W. (1992): Stability of CO₂ clathrate hydrate + CO₂ liquid + CO₂ vapour + aqueous KCl-NaCl solutions: Experimental determination and application to salinity estimates of fluid inclusions. – Geochimica et Cosmochimica Acta, 56, 273-280.

- Diamond L. W. (1994): Introduction to phase relations of CO₂-H₂O fluid inclusions. – In: De Vivo B., Frezzotti M. L. (eds.): Fluid inclusions in minerals: methods and applications, Pontignano, Siena, p. 131-158.
- Dolníček Z., René M., Hermannová, S., Prochaska W. (2014): Origin of the Okrouhlá Radouň episyenite hosted uranium deposit, Bohemian Massif, Czech Republic: fluid inclusion and stable isotope constraints. – *Miner. Deposita* 49, 409-425.
- Gerdes A., Friedl G., Parish R.R., and Finger F. (2003): High-resolution geochronology of Variscan granite emplacement – the South Bohemian Batholite. – *J. Czech Geol. Soc.*, 48, 53-54.
- Fiala J. (1995): General characteristics of the Moldanubian Zone. – In: Dallmeyer R.D., Franke W., and Weber K. (eds.): Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 417-418.
- Franěk J., Schulmann K., Lexa O., Tomek Č., Edel J.-B. (2011): Model of syn-convergent extrusion of orogenic lower crust in the core of the Variscan belt: implications for exhumation of high-pressure rocks in large hot orogens. – *J. Metamorph. Geol.*, 29, 53-78.
- Franke W. (2000): The mid-European segment of the Variscides: tectonostratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution. – In: Franke W., Haak V., Oncken O., Tanner, D. (eds.): Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt. Geological Society, London, p. 35-61.
- George S. C., Ruble T. E., Dutkiewicz A., Eadington P. J. (2001): Assessing the maturity of oil in fluid inclusion using molecular geochemistry data and visually determined fluorescence colours. – *Appl. Geochem*, 16, 451-473.
- Holub V. (1972): The Permian of the Bohemian Massif. – In: Falke H. (ed.): *Rotliegend: Essays on European Lower Permian*, p. 137–188.
- Holub F. V., Cocherie A., Rossi P. (1997): Radiometric dating of granitic rocks from the Central Bohemian Plutonic Complex (Czech Republic): constraints on the chronology of thermal and tectonic events along the Moldanubian-Barrandian boundary. – *Comptes rendus de l'Academie des Sciences Paris. Earth Planet. Sci.*, 325, 19-26.
- Holub V. (2001): Výskyty permokarbonu v blanické brázdě. – In: Pešek et al.: *Geologie a ložiska svrchnopaleozoických pánví České republiky*, 198-207. ČGÚ, Praha.
- Hübst Z., Zachariáš J., Selmi M. (2011): Stříbrnosný žilník na Hřívě u Louňovic pod Blánkem: strukturní vývoj a složení fluid. – *Sbor. Jihočes. muz. v Čes. Buděj., přír. vědy*, 51, 43-56.
- Huraiová M., Hurai V. Slobodník M. (2002): *Základy štúdia fluidných inklúzií v mineráloch*. Vyd. PřF Masarykovy Univerzity, Brno.
- Chlupáč I., Štorch P. (1992): Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky. I. Krystalinikum a prevariské paleozoikum. – *Čas. Mineral. Geol.*, 37, 4, 258-275.

- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2002): Geologická minulost České republiky. Academia Praha.
- Islakaeva Z. (2011): Studium fluidních inkluzí vybraných žilných ložisek Ag-Pb-Zn v blanické brázdě. MS diplomové práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, PřF UK, Praha.
- Kachlík V. (2003): Geologický vývoj území České republiky. Správa úložišť radioaktivního odpadu, Praha.
- Košler J., Kelley S.P., Vrána S. (2001): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ hornblende dating of microgranodiorite dyke: implications for early Permian extension in the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif. – Int. J. Earth Sci., 90, 379-385.
- Koutek J. (1964): Geologie československých rudních ložisek. I. Ložiska českého jádra. Učeb. texty vys. šk., Univ. Karlova v Praze, Přír. Fak. SPN n.p. Praha.
- Králík M. (1997): Stříbrnosný žilník na Hřivě pod Blaníkem. – In: Zachariáš J. (ed.) Sborník semináře Poucha 75 let. Přírodovědecká fakulta UK Praha, pp. 51-59.
- Kříbek B., Hájek A. (eds.) (2005): Uranové ložisko Rožná, Model pozdně variských a povariských mineralizací. – Česká geologická služba. Praha. 98p.
- Martínek K., Drábková J., Mikuláš R., Šimůnek Z., Zajíc J. (2001): Field trip 1A, Blanice Graben. 9th Coal geology conference, Prague.
- Misař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): Geologie ČSSR I, Český masív. Státní pedagogické nakladatelství. Praha.
- Morávek P., Aichler J., Doškár Z., Duda J., Ďurisová J., Hauk J., Janatka J., Kalenda Z., Klomínský J., Květoň P., Litochleb J., Malec J., Mrázek I., Novák F., Poucha Z., Pudilová M., Punčochář M., Skácel J., Soukup B., Studničná B., Sztacho P., Šponar P., Tásler R., Váňa T., Vaněček M., Veselý J. (1992): Zlato v Českém masívu. Český geologický ústav, Praha.
- Nouza R. (1988): Prognózní ocenění Ag-Pb-Zn mineralizace blanické brázdy. Kandidátská disertační práce, katedra ložiskové geologie, PřF UK, Praha.
- Ondřejíčková M. (2013): Studium fluidních inkluzí z mineralizace u Ratibořských hor. Bakalářská práce, Ústav geologických věd, PřF MU, Brno.
- Pešek J., Sýkorová I., Michna O., Martínek K. and Vašíček M. (2004): Databáze výsledků chemicko-technologických analýz, stanovení síry a stopových prvků ve svrchnopaleozoických kontinentálních pánvích České republiky. – Uhlí, rudy, geol. průzk., 52, 3-19.
- Pironon P., Pradier B. (1992): Ultraviolet-fluorescence alteration of hydrocarbon fluid inclusions. – Org. Geochem., 18, 501-509.
- Průchová K. (2016): Mineralogie a podmínky vzniku vybraných typů hydrotermální mineralizace boskovické brázdy. Diplomová práce, PřF UP, Olomouc.

- Shepherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M. (1985): A practical guide to fluid inclusion studies. – Blackie, Glasgow and London.
- Spencer R.J., Møller N., Weare J.H. (1990): The prediction of mineral solubilities in natural waters: a chemical equilibrium model for the Na–K–Ca–Mg–Cl–SO₄–H₂O system at temperatures below 25 °C. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54, 575–590.
- Stasiuk L. D., Snowdon L. R. (1997): Fluorescence microspectrometry of synthetic and natural hydrocarbon fluid inclusions: crude oil chemistry, density and application to petroleum migration. – *Appl. Geochem.*, 12, 229–241.
- Stehlík J. (2011): Mineralogicko-geochemická charakteristika vybraných hydrotermálních mineralizací v blanické brázdě. Diplomová práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, PřF UK, Praha.
- Sterner S. M., Bodnar R. J. (1989): Synthetic fluid inclusions - VII. Re-equilibration of fluid inclusions in quartz during laboratory-simulated metamorphic burial and uplift. – *J. Metamorph. Geol.*, 7, 243–260.
- Velebil D. (2000): Rudní revír Ratibořské Hory – Stará Vožice. – *Minerál*, 5, 363–374.
- Vrána S., Slabý J., Bendl J. (2005): The Kaplice dyke swarm of biotite granodiorite porphyry and its relationship to the Freistadt granodiorite, Moldanubian Batholith. – *J. Czech Geol. Soc.*, 50, 9–17.
- Wang K. Y., Qing M., Sun F. Y. (2010): Study on the geochemical characteristics of ore-forming fluids and genesis of Xiaoxinancha gold-copper deposit, Jilin Province. – *Acta. Petrol. Sin.*, 26, 12, 3727–3734.
- Wang Y., Wang K., Konare Y. (2018): N₂-rich fluid in the vein type Yangjingou scheelite deposit, Yanbian, NE China. – *Sci. Reports*, 8, Article No. 5662.
- Zachariáš J. (2000): Úvod do studia plynokapalných inkluzí. Vyd. PřF UK. Praha.
- Zachariáš J., Paterová B., Pudilová M. (2009): Mineralogy, fluid inclusion, and stable isotope constraints on the genesis of the Roudný Au-Ag deposit, Bohemian Massif. – *Econ. Geol.*, 104, 53–72.
- Žák K., Kříbek B., Dobeš P., Pudilová M., Hájek A., Holeczy D. (2002): Genetic model of the Rožná uranium deposit based on the stable isotope and fluid inclusion data. – In: Kříbek B. & Zeman J. (eds.): *Uranium Deposits: From their genesis to their environmental aspects. Proc. of the Int. Workshop organized by the Czech Group of the IAGOD. Czech Geol. Surv.*, 10–11, 127–130.
- Žák J., Verner K., Finger F., Faryad S. W., Chlupáčová M., Veselovský F. (2011): The generation of voluminous S-type granites in the Moldanubian unit, Bohemian Massif, by rapid isothermal exhumation of the metapelitic middle crust. – *Lithos*, 121, 25–40.
- Geovědní mapy 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>